

地層処分システムにおける閉鎖技術の開発

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

概 要

1997年2月

鹿島建設株式会社

地層処分システムにおける閉鎖技術の開発

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

概 要

1997年2月

鹿島建設株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

地層処分システムにおける閉鎖技術の開発

日比谷 啓介* 稲葉 武史* 塩釜 幸弘* 升元 一彦*
深沢 栄造* 平 和男* 田中 俊行* 近藤 嘉広*
山本 正明** 奥津 一夫**
古市 光昭***

要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、廃棄体の定置後、処分のために建設した地下構造物を人工バリア材の一つである埋戻し材、プラグ材、グラウト材により閉鎖し、廃棄体の隔離性能を長期にわたり確保する必要がある。

そこで、わが国の地質環境条件に適応し得るこれら閉鎖システムの確立に資するため、室内試験および原位置試験を通じてこれらの性能を定量的に評価していくことが必要である。

本年度は、粘土プラグの性能を評価するため、室内透水試験を実施するとともに、原位置試験の設計検討を実施した。

- 1) 圧縮珪砂ベントナイトによるプラグを模擬した高水圧透水試験を行い、プラグの透水特性を検討した。
- 2) カナダのURLサイトにおける横坑シーリング試験の事前検討を行い、具体的な施工方法や試験方法を選定した。

本報告書は、鹿島建設株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：080D0246

事業団担当部課室および担当者 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室 室長 石川 博之

* 鹿島建設（株）技術研究所

** 鹿島建設（株）建設総事業本部 土木設計本部

*** 鹿島建設（株）建設総事業本部 原子力室

Investigation on Sealing in Geological Disposal

K.Hibiya* , T.Inaba* , Y.Shiogama* , K.Masumoto* ,
E.Fukazawa* , K.Taira* , T.Tanaka* , Y.Kondo* ,
M.Yamamoto** , K.Okutsu** ,
M.Furuichi***

Abstract

For the geological disposal of high level radioactive wastes, after placement of the wastes, it is necessary to close off (to be called "sealing" hereafter) the underground potential passages (disposal pits, disposal tunnels, liaison tunnel and construction tunnels) with an effective combination of engineered barriers such as buffers, backfilling materials, plugs and grout. It is necessary to ensure the long-term liability to isolate disposed wastes in the system.

The results of the research works this year are as follows ;

- 1) In order to evaluate the permeation of plugs using blocks of compressed sand-bentonite mixture under high water pressure, a permeability test modelling the plugs was carried out.
- 2) The main objectives are to discuss the design of tunnel sealing experiments at URL site for the appropriate testing methods and construction methods.

Work performed by KAJIMA Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Geological Isolation Technology Section, Waste Technology Development Division, Tokai Works,
Hiroyuki Ishikawa

* : Kajima Technical Research Institute.

** : Kajima Corporation, Civil Engineering Design Dept.

*** : Kajima Corporation, Nuclear Power Dept.

目 次

1. 研究の目的および範囲	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 研究の範囲	1-1
1.3 研究の内容	1-1
2. 材料の特性評価	2-1
2.1 目的	2-1
2.2 使用材料	2-1
2.3 試験配合と試験ケース	2-1
2.4 透水試験方法	2-1
2.5 試験結果	2-2
2.5.1 圧縮珪砂ベントナイトブロックの製作	2-2
2.5.2 透水試験結果	2-2
2.5.3 膨潤圧	2-4
2.6 今後の課題	2-5
2.7 参考文献	2-5
3. 原位置試験設計	3-1
3.1 試験の概要	3-1
3.2 全体工程	3-6
3.3 粘土プラグ部の施工方法	3-9
3.4 流水チャンバー部の施工方法	3-19
3.5 プラグサポート工法の検討	3-23
3.6 計測方法の検討	3-35
3.7 粘土系グラウト方法の検討	3-49
3.8 今後の検討課題	3-52
3.9 参考文献	3-53

目 次

2 章

- 図-2.1 圧縮珪砂ベントナイトブロックと試験容器
- 図-2.2 透水係数の経時変化
- 図-2.3 透水係数と乾燥密度の関係
- 図-2.4 膨潤圧の経時変化
- 図-2.5 膨潤圧と乾燥密度の関係

3 章

- 図-3.1 試験の概要
- 図-3.2 420m レベル試験坑道周辺のレイアウト
- 図-3.3 試験坑道のレイアウト
- 図-3.4 アクセストンネルの形状
- 図-3.5 トンネルシーリング試験のスケジュール
- 図-3.6 トンネルシーリング試験の詳細スケジュール
- 図-3.7 ベントナイトプラグ形状 (案)
- 図-3.8 必要ベントナイト量の計算 (カナダ案2、日本案1)
- 図-3.9 必要ベントナイト量の計算 (日本案2、3)
- 図-3.10 ブロック成形方法の比較
- 図-3.11 プラグ部の掘削方法
- 図-3.12 プラグの施工方法(1)
- 図-3.13 プラグの施工方法(2)
- 図-3.14 ブロック数の試算結果
- 図-3.15 注水エリアの施工方法
- 図-3.16 注水装置とエア抜き方法
- 図-3.17 A E C L の注水装置設置案
- 図-3.18 ②案の修正案
- 図-3.19 「無筋コンクリート製隔壁-鋼製支柱」工法の概要
- 図-3.20 「鋼製隔壁-鋼製支柱」工法の概要
- 図-3.21 「控え擁壁による鋼製隔壁」工法の概要
- 図-3.22 「無筋コンクリート隔壁」工法の概要
- 図-3.23 プラグ断面ごとの埋設計器配置
- 図-3.24 ブロック中へのセンサーの埋設方法

- 図-3.25 埋設計器の仕様 (Thermocouple Psychrometer)
- 図-3.26 埋設計器の仕様 (Earth Pressure Cell)
- 図-3.27 埋設計器の仕様 (Piezometer)
- 図-3.28 埋設計器の仕様 (Cable)
- 図-3.29 湧水量測定方法
- 図-3.30 ベンチレーション試験方法
- 図-3.31 粘土系グラウトの手順 (当初計画)

表 一 覧

3 章

- 表-3.1 各工法の力学的成立性
- 表-3.2 各工法の比較
- 表-3.3 ベントナイトプラグ中の埋設計器（当初計画）
- 表-3.4 埋設計器の数量
- 表-3.5 埋設計器の仕様（AEC Lサイド）
- 表-3.6 グラウト注入方法の比較

1. 研究の目的および範囲

1.1 目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、廃棄体の定置後、処分のために建設した地下構造物を人工バリア材の一つである埋戻し材、プラグ材、グラウト材により閉鎖し、廃棄体の隔離性能を長期にわたり確保する必要がある。

そこで、わが国の地質環境条件に適応し得るこれら閉鎖システムの確立に資するため、室内試験および原位置試験を通じてこれらの性能を定量的に評価していくことが必要である。

本年度は、粘土プラグの性能を評価するため、室内透水試験を実施するとともに、原位置試験の設計検討を実施した。

1.2 研究の範囲

- (1) プラグ透水試験
- (2) 原位置試験設計
- (3) (1)～(2)の報告

1.3 研究の内容

(1) プラグ透水試験

現在までの研究開発結果から整理されているプラグのコンセプトは、以下のようなものである。

材 料：ベントナイト単体あるいはベントナイト+ケイ砂混合材

形 態：圧縮成型ブロック

これらの概念を基にその性能をより定量的に評価するためには、圧縮ベントナイトブロックの遮水性能を把握することが必要である。

本年度は、原位置試験に際しての仕様を検討するための予備検討として、以下の条件において透水試験を実施し、プラグの遮水性に関するデータを取得した。

- | | |
|--------------|--|
| ① 試験材料 | : クニゲルV 1 (70%) + ケイ砂 (30%) |
| ② 形 態 | : 圧縮成型ブロック体 |
| ③ ブロック分割パターン | : 7分割 |
| ④ プラグ寸法 | : 50 (直径) × 5 (厚さ) cm |
| ⑤ 乾燥密度 | : 1.8g/cm ³ |
| ⑥ 水 圧 | : 最大40kg/cm ² (給水圧は、低圧から徐々に最大圧力まで上昇させた) |

- ⑦ 計測項目 : 膨潤圧（上下左右の計4点）、流入・流出水量、
給水圧力

(2) 原位置試験設計

原位置設計については、プラグおよび各種計測器の配置、トンネル形状、グラウト施工方法、プラグのサポートに関わる強度計算など、現在までに概念設計を実施してきた。そこで、本年度はこれらの成果を基に基本設計を実施するために、以下の点を検討した。

- ① プラグ設置用拡幅部の掘削方法の検討
- ② 拡幅部に対するグラウトの施工方法の検討
- ③ 注水エリアの施工方法および注水管周辺の止水対策の検討
- ④ プラグ、グラウト施工手順の検討
- ⑤ プラグ／トンネル間の隙間対策
- ⑥ 注水チャンバー部のエア抜き方法
- ⑦ 計器ケーブル周辺の止水対策

2. 材料の特性評価

2. 1 目的

高レベル放射性廃棄物処分施設は、地下数百m以深に建設する方向で現在検討が進められている。このうち、坑道からの核種の漏洩を抑制するための一つの方法として、ベントナイトによるプラグが考えられており、そのプラグの施工法の一つとして、圧縮ベントナイトブロックを積み上げる方法が検討されている。

昨年度の研究では、圧縮ベントナイトブロックによる坑道の閉鎖を模擬して、ベントナイト100%の場合の圧縮ベントナイトブロック集合体の高水圧下での遮水性能を調べ、乾燥密度 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ の場合（ブロック間の隙間を考慮した平均乾燥密度： $1.48\text{g}/\text{cm}^3$ ）、透水係数が $1\times 10^{-12}\text{m}/\text{s}$ 程度であることを確認した。

しかし、ベントナイトが高価であること、ベントナイトに珪砂を30%程度混入しても十分に締固めできれば遮水性はほとんど変わらない室内透水試験の結果もあること¹⁾等から、カナダAEC Lでの現地プラグ試験においては、ベントナイト70%、珪砂30%の珪砂ベントナイト混合土を使用することになった。

そこで、本年度の研究では、ベントナイト70%、珪砂30%の珪砂ベントナイト混合土を対象にして、乾燥密度 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ の場合（ブロック間の隙間を考慮した平均乾燥密度： $1.66\text{g}/\text{cm}^3$ ）の圧縮珪砂ベントナイトブロック集合体の高水圧下での遮水性能を把握することを目的として、高水圧透水試験を実施した。

2. 2 使用材料

材料として、山形県産のNaベントナイト（クニゲルV1）と市販の珪砂3号と5号を用いた。

2. 3 試験配合と試験ケース

今回の試験では、乾燥重量比率でベントナイト70%、珪砂30%（3号珪砂と5号珪砂を1：1混合）の配合の珪砂ベントナイトを対象とした。

圧縮珪砂ベントナイトブロックの目標乾燥密度は $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ とし、圧縮した珪砂ベントナイトブロックを1組作製して透水試験機にセットし、通水圧を徐々に増加させて、最終的に 3.92MPa （ $40\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）までの高水圧透水試験を1ケース行った。

2. 4 透水試験方法

圧縮ベントナイトブロックの透水試験は、圧縮珪砂ベントナイトブロックを直径50cm、厚さ5cmの高水圧試験容器（図-2.1）にセットして、通水圧 3.92MPa （ $40\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）まで増加させて行った。

膨潤圧は土圧計を用いて測定し、通水量として流入・流出量を測定した。

圧縮珪砂ベントナイトブロックは、ブロック間の処理は行わずに試験容器内にセットし、透水試験時は坑道を模擬するために試験装置を鉛直方向に立てて通水させた。

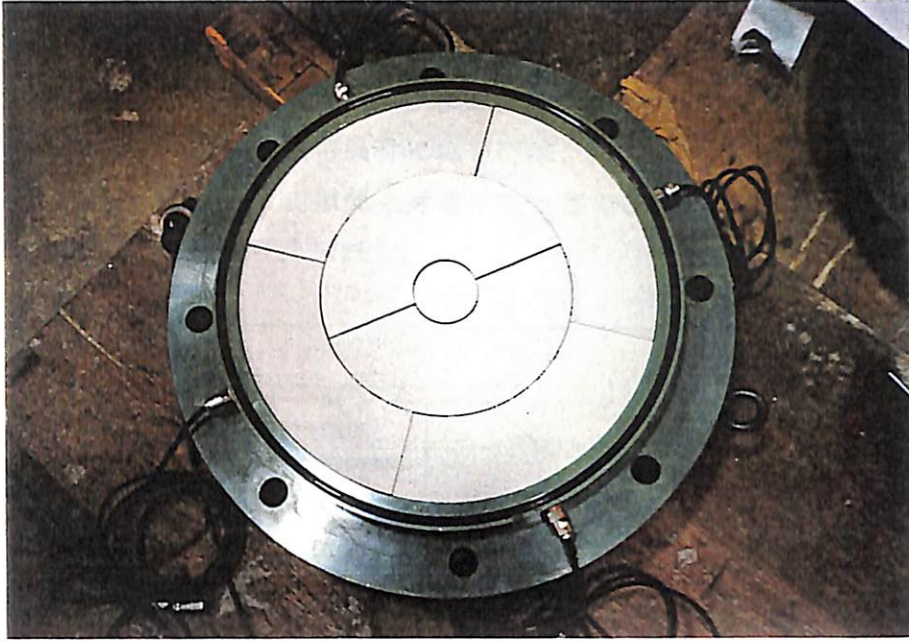


図-2.1 圧縮珪砂ベントナイトブロックと試験容器
(ケーブルの出ている所が膨潤圧測定のための土圧計4点)

2.5 試験結果

2.5.1 圧縮珪砂ベントナイトブロックの製作

圧縮珪砂ベントナイトブロック作製時の仕上り精度は、目標高さ $50.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ に対して $49.55 \sim 50.70\text{mm}$ であった。ブロックの幅は、全体としての隙間が 9mm になるような型枠としたが、圧縮後の膨張により 4mm 程度になった。

また、乾燥密度 ρ_d は、目標値 $\rho_d = 1.80\text{g/cm}^3$ に対して $1.79 \sim 1.80\text{g/cm}^3$ であり、その時の最大圧縮応力は、 $6.67 \sim 8.53\text{MPa}$ ($68 \sim 87\text{kgf/cm}^2$) であった。

2.5.2 透水試験結果

図-2.2に通水量及び排水量から計算される透水係数の経時変化を示した。

通水圧が 0.785MPa (8.0kgf/cm^2) になった時点で、排水側のパイプからの排水が認められた。このときの飽和度は、計算上 51% となった。通水圧 0.785MPa (8.0kgf/cm^2) から 1.18MPa (12kgf/cm^2) まで通水量と排水量がほぼ一致し、計算される透水係数は $k = 1 \times 10^{-12}\text{m/s}$ であった。その後、通水圧 3.92MPa (40kgf/cm^2) まで、透水係数は若干低くなった程度でほとんど変化せず、最終的には $k = 6 \times 10^{-13}\text{m/s}$ であった。

今回の珪砂ベントナイトブロックの高水圧透水試験で得られた透水係数と、これまで行ってきたベントナイト単体のブロックの高水圧透水試験、及び珪砂ベントナイト混合土とベントナイト単体の小型透水試験(直径 4cm 、高さ 2cm)で得られた透水係数を比較したのが、図2.3である。小型透水試験での k は、 $\rho_d = 1.5 \sim 1.80\text{g/cm}^3$ の範囲では 10^{-13}m/s オーダーの値で、乾燥密度の増加に伴い小さくなる傾向にあった。

小型透水試験では、珪砂ベントナイト混合土の k はベントナイト単体のばらつきの範囲の高い方にあり、ベントナイト単体の方がやや透水係数が小さい結果となっている。

また、圧縮ブロック集合体の通水圧 3.92MPa (40kgf/cm²) での透水係数は、珪砂ベントナイト混合土とベントナイト単体両者共に小型透水試験の結果と同等の値であった。

したがって、ベントナイトブロックの隙間を無処理のまま通水した場合においても、このような配合条件、隙間間隔の条件においては、ベントナイトの膨潤によってベントナイトブロックは一体となり、隙間を考慮したときの乾燥密度を持った試験体に相当する透水係数を有するものと考えられる。

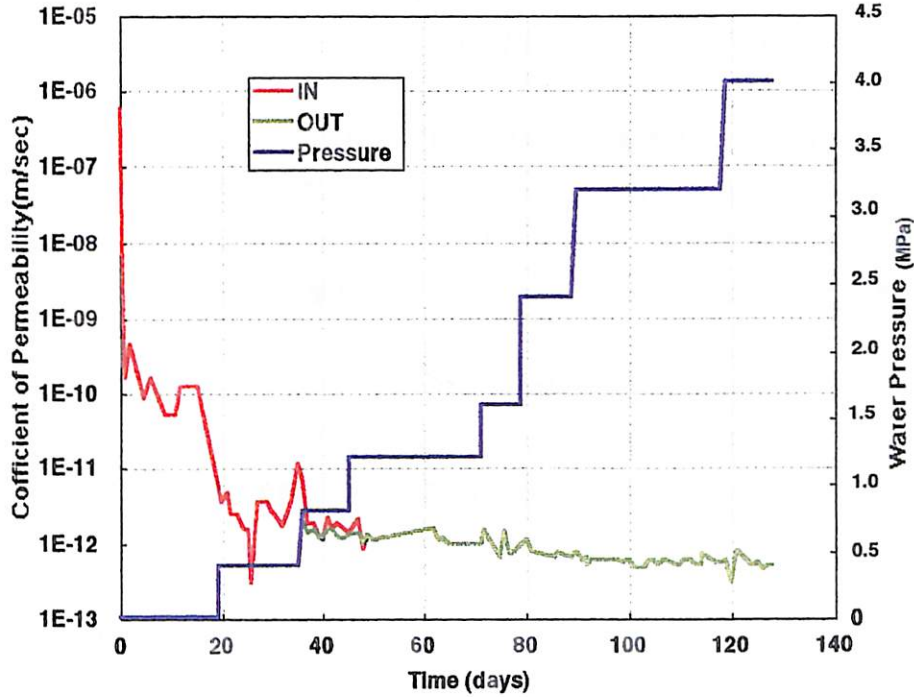


図-2.2 透水係数の経時変化

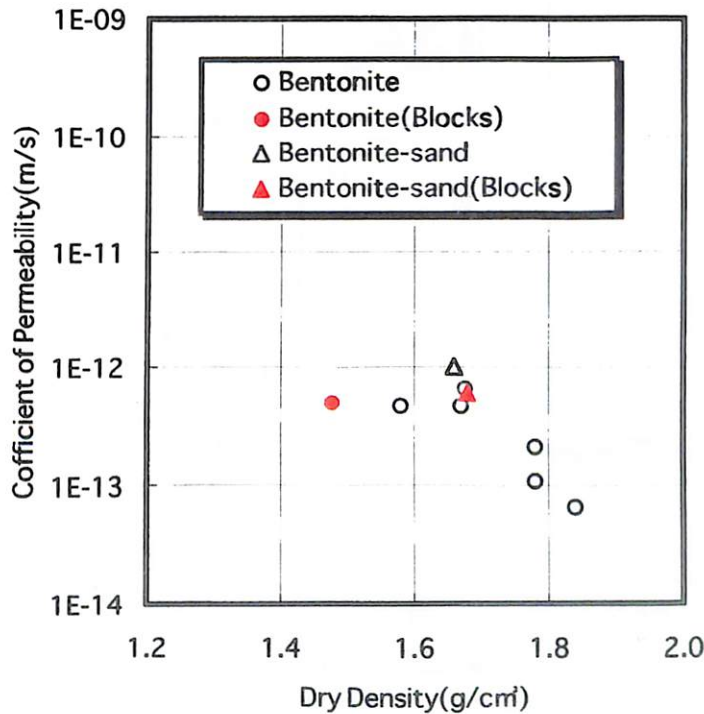


図-2.3 透水係数と乾燥密度の関係

2.5.3 膨潤圧

試験装置の上下左右の側面4点(図-2.1参照)で土圧計を用いて膨潤圧を測定し、図-2.4にその経時変化を示した。試験開始後、0.098MPa(0.1kgf/cm²)という低い通水圧を保持したときの土圧計の測定値は、0.392~0.686MPa(4~7kgf/cm²)に収束した。その後、通水圧を3.92MPa(40kgf/cm²)まで増加させると、通水圧に近い値となったが、透水試験の途中及び終了後の膨潤圧を確認するため、通水圧を0.098MPa(0.1kgf/cm²)に戻したが、土圧計の測定値は0.588~0.785MPa(6~8kgf/cm²)であり、今回の珪砂ベントナイトブロックの膨潤圧は0.588~0.785MPa(6~8kgf/cm²)と考えられる。

ベントナイトブロックの高水圧透水試験で得られた膨潤圧と、これまで行ってきた小型の膨潤圧試験での膨潤圧を比較したのが図-2.5である。今回用いたブロックの隙間を考慮したときの平均乾燥密度は1.66g/cm³となるが、同等の乾燥密度を持った同じ配合条件の小型の膨潤圧試験での膨潤圧も0.686MPa(7kgf/cm²)程度であり、ほぼ同等であった。

また、珪砂を30%混合した珪砂ベントナイト混合土とベントナイト単体の膨潤圧を比較すると、同じ乾燥密度においては、ベントナイト単体の方が膨潤圧が高く、これまで得られている小型の膨潤圧試験の結果と同様の傾向を示している。

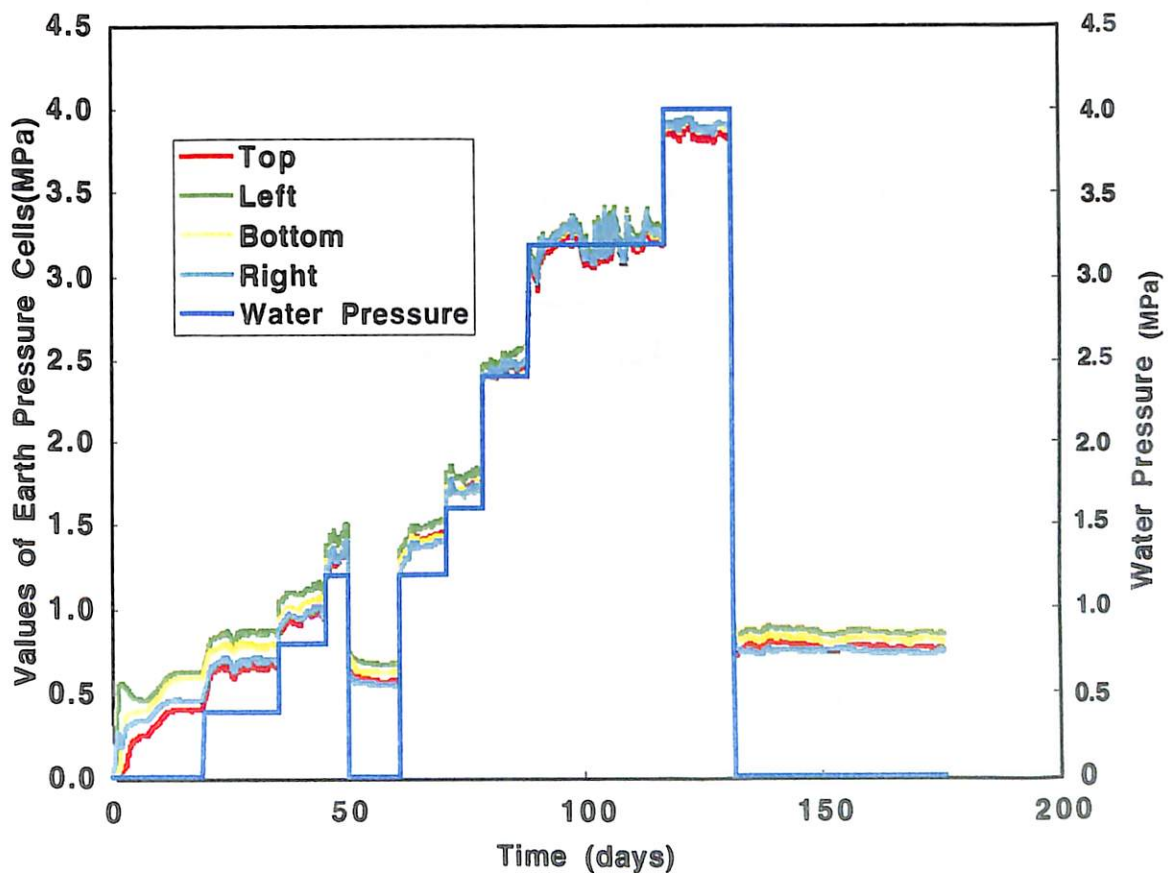


図-2.4 膨潤圧の経時変化

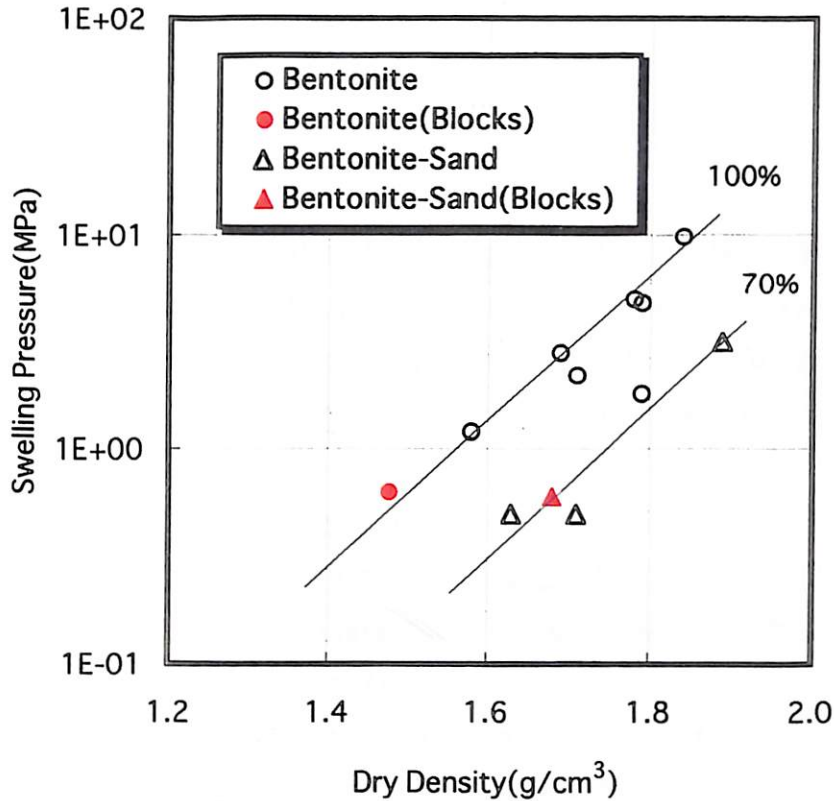


図-2.5 膨潤圧と乾燥密度の関係

2.6 今後の課題

今回、珪砂30%、ベントナイト70%の混合土を圧縮して製作したブロックを用いて高水圧透水試験を行い、透水係数、膨潤圧を測定した結果、同じ配合条件での小型の試験体での透水係数、膨潤圧とほぼ同等の値となった。

また、これまでに実施したベントナイト単体の圧縮ブロックの結果と比較しても、ほぼ同等の結果であり、ブロック間の隙間が50cmの直径に対して4mm程度であれば、ベントナイトブロックが一体化し、同等の乾燥密度を有する小型試験体で得られているのと同様の遮水性、膨潤性を示すことがわかった。

今後、ブロックの隙間の大きさについては、ベントナイトの膨潤特性との関連で検討する必要があるが、今回の試験での隙間程度にベントナイトブロックを積み重ねれば、遮水性は問題ないものと考えられる。

今回使用した珪砂30%、ベントナイト70%の混合土の圧縮ブロックは、AEC Lでのプラグ実験でも使用されることになっており、その結果が出た段階で再度、珪砂ベントナイト混合土のブロックの遮水性について検討する必要がある。

2.7 参考文献

- 1) 地層処分におけるシーリング研究(Ⅲ) : PNC PJ1100 94-002. 1994年2月

3. 原位置試験設計

3.1 試験の概要^{1) 2) 3) 4)}

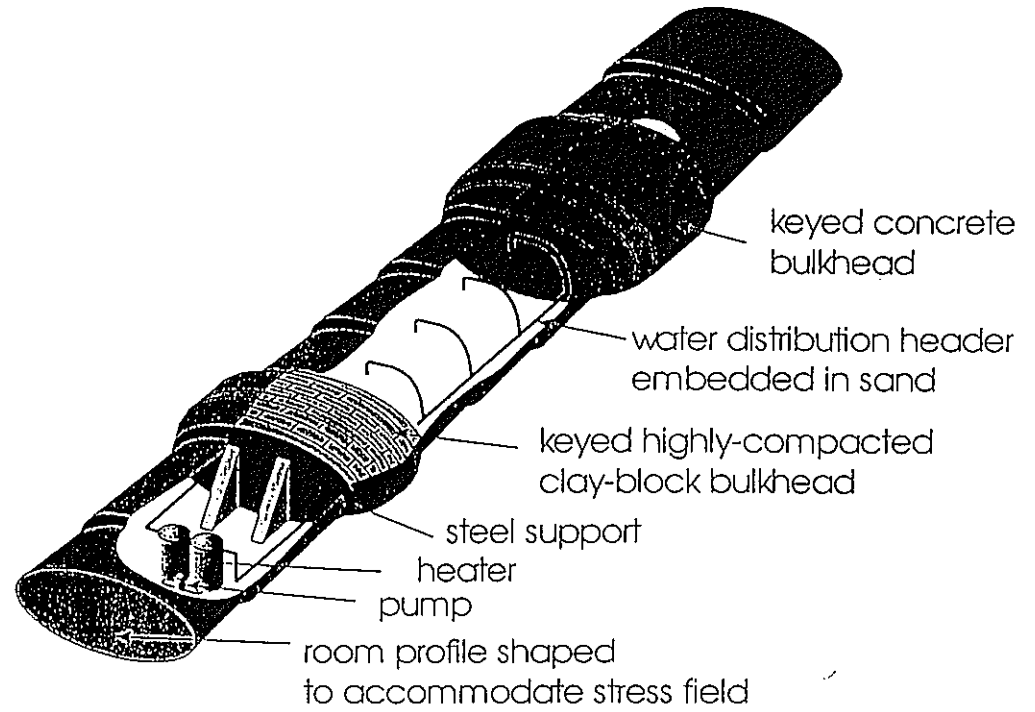
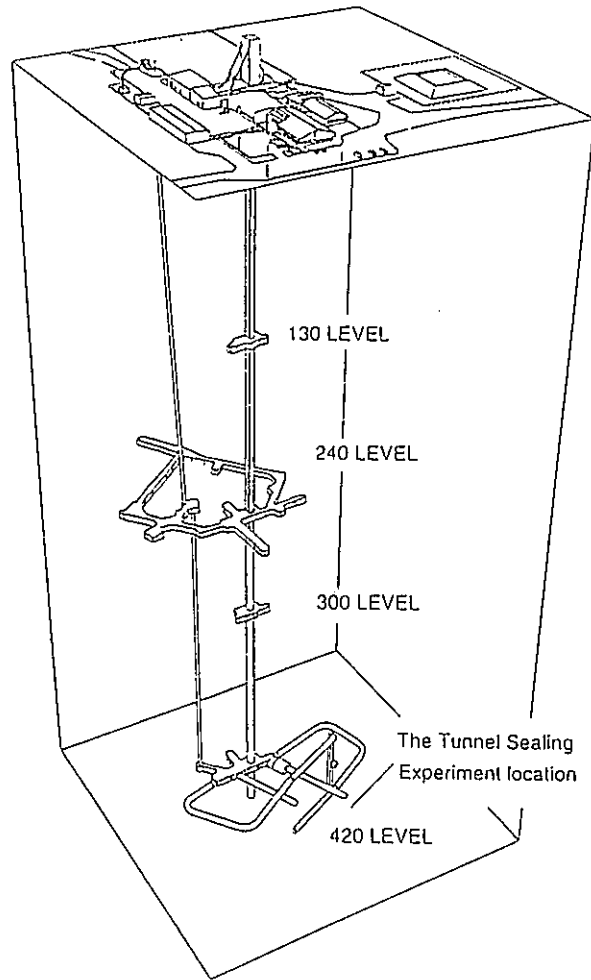
3.1.1 試験全体の概要

原位置での処分坑道のシーリング性能試験（トンネルシーリング試験）はカナダAECLと動燃殿PNCの共同研究として進められている。試験サイトは、カナダURLの420mレベルに新たに掘削した試験坑道での実施が予定されており（図-3.1），日本側の粘土系材料によるシーリング概念とカナダ側のコンクリートによるシーリング概念を並行して評価する計画になっている。

具体的には、水平に掘削された坑道にベントナイトブロックを積み上げたプラグと低発熱高流動コンクリートによるプラグの2つを設置し（図-3.1），これらのプラグの間の区間に注水を行う。フェーズ1（Pressure Test）では地下420mでの間隙水圧を想定して最大4MPaまで水圧を上昇させ、その間のEDZ（Excavation Damage Zone）や周辺岩盤とプラグの境界部やプラグ内部の水の流れを観測する。フェーズ2（Thermal Test）では約85℃の温水を注水する。今回の共同研究では、フェーズ2に関しては現時点で日本側は関与していない。

3.1.2 試験坑道のレイアウト

試験坑道（Room425）のレイアウトについては、URLの420mレベルにおける地圧を考慮する必要がある。試験位置での地圧の特徴は、最大主応力がほぼ水平方向を向いていることである。当初、カナダ側から中間主応力 σ_2 に平行な方向で楕円形の断面形状の試験坑道のレイアウトが提案されたが、日本側の地層処分概念として楕円形状の処分坑道の可能性が小さいため、最大主応力 σ_1 に平行な方向で極力円形の断面形状に近づける試験坑道のレイアウトが日本側から提案された。協議の結果、試験坑道のレイアウトは図-3.2、3.3に示すように、坑道長が40m、最大主応力 σ_1 （ 55 ± 5 MPa）に平行な方向でアスペクト比1.25の断面形状の試験坑道が採用された。なお、 σ_2 は 48 ± 5 MPa、 σ_3 は 14 ± 1 MPaである。周辺のアクセストンネルは、メインレベルでRoom417, 423, 424が掘削予定で、上部レベルでRoom418, 419が、下部レベルでRoom421が掘削予定である。アクセストンネルの断面形状を図-3.4に示す。



URLレイアウト

トンネルシーリング試験

図-3.1 試験の概要

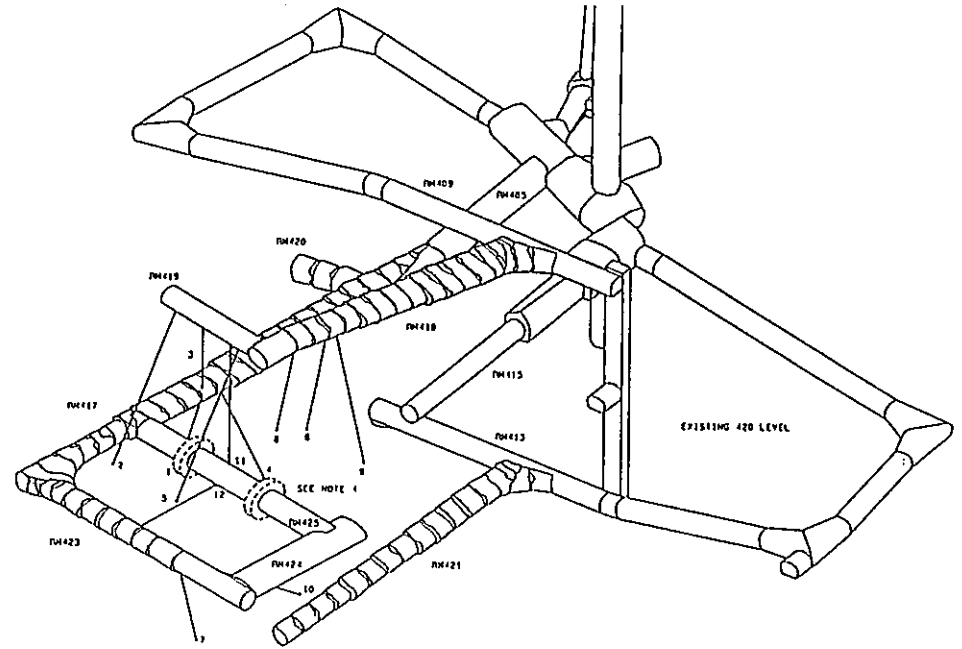
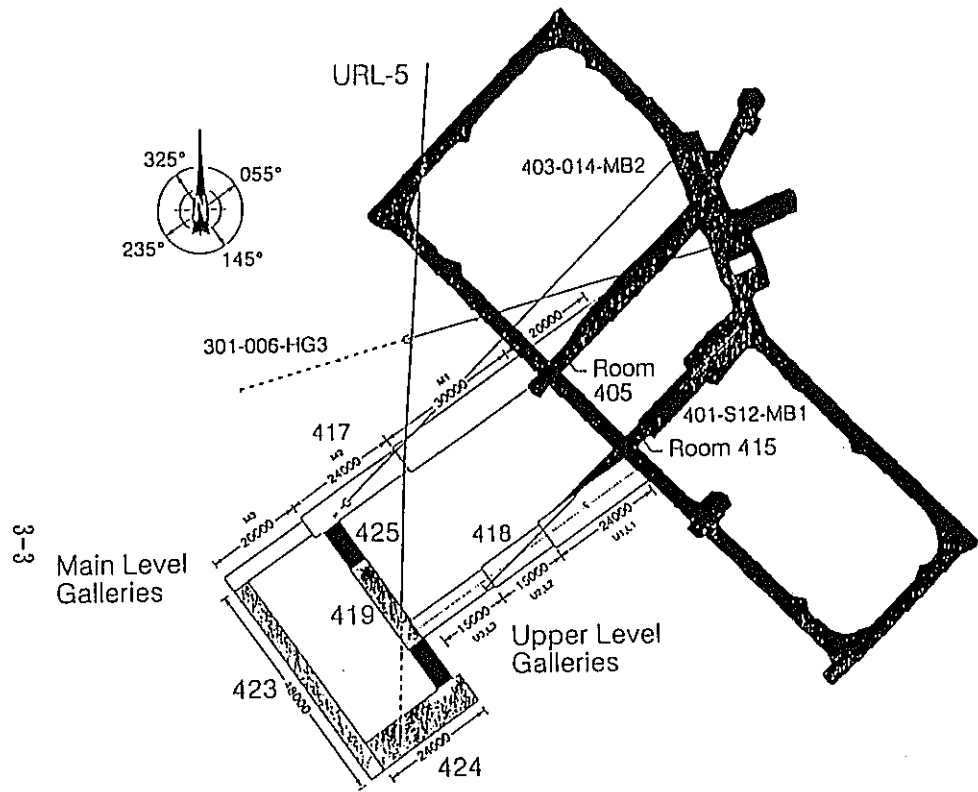


図-3.2 420mレベル試験坑道周辺のレイアウト

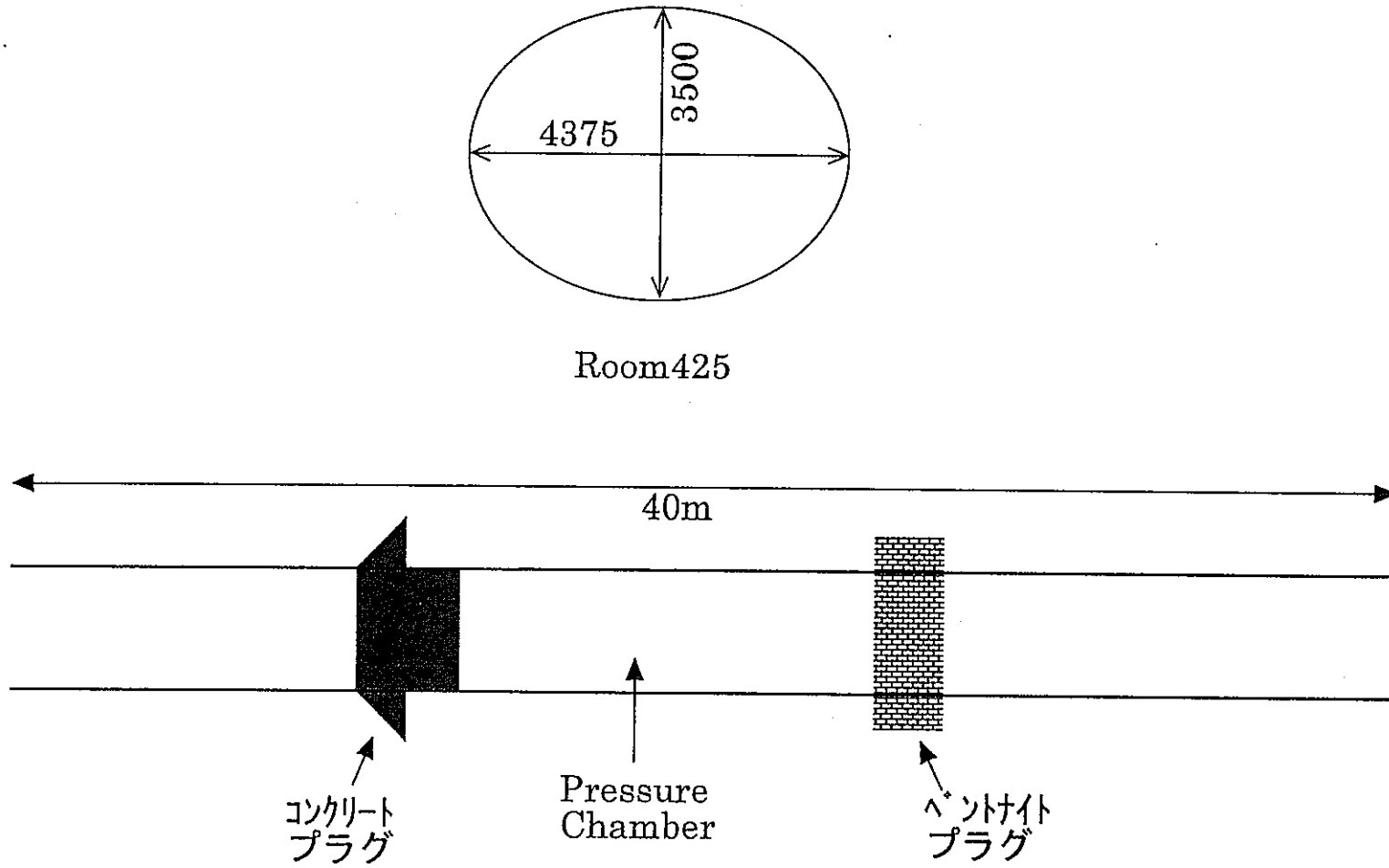
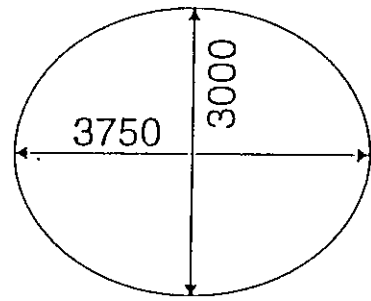
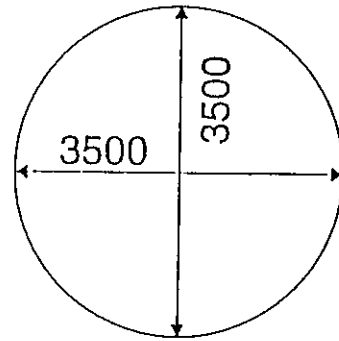


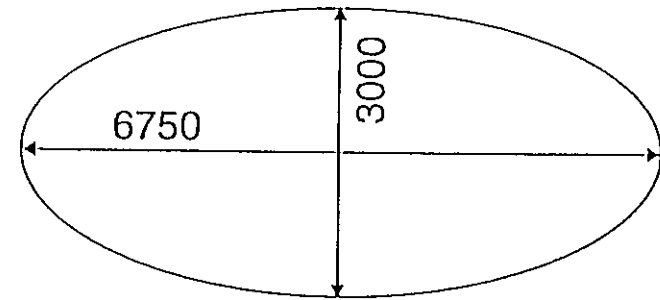
図-3.3 試験坑道のレイアウト



Room 419



Room 423



Room 424

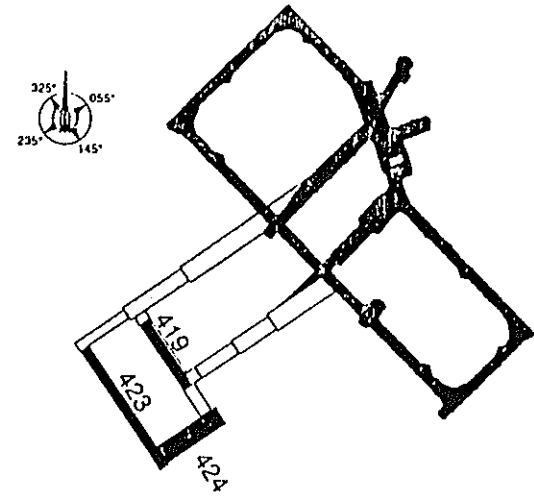


図-3.4 アクセストンネルの形状

3.2 全体工程

トンネルシーリング試験の全体工程を図-3.5に示す。1998年1月から2年間フェーズ1についての試験が行われ、2000年1月から2年間フェーズ2についての試験が行われる予定である。アクセストンネル、試験坑道の掘削を1997年3月までに完了し、その後9ヶ月間でプラグの拡幅、プラグの設置、注水装置の設置、注水チャンバー内の埋め戻し等を実施する。

日本側が提案した全体の施工の手順は、プラグサポート、ベントナイトプラグの設置、注水装置の設置（ベントナイトプラグと同時施工）、埋め戻し（ベントナイトプラグと同時施工）、コンクリートプラグの設置の順である。鉄板のプラグサポートをベントナイトプラグ施工上の型枠として利用するため、これを最初に設置する必要がある、そのためコンクリートプラグを最後に施工する手順になっている。粘土グラウト用の設備に関しては、注入用のボーリング孔の削孔と配管の設置をベントナイトプラグの設置前に行う。

この日本側の提案を受けてカナダ側が計画した工程を図-3.6に示す。施工手順としては、注水装置の設置、ベントナイトプラグの設置、プラグサポート、埋め戻し（プラグサポートと同時施工）、コンクリートプラグの設置の順になる。プラグサポートをベントナイトプラグの設置後に施工する事により、プラグの両側からベントナイトブロックを積み上げることができ、また、プラグサポートと埋め戻しを同時に施工できることから、施工時間の短縮が期待できる。

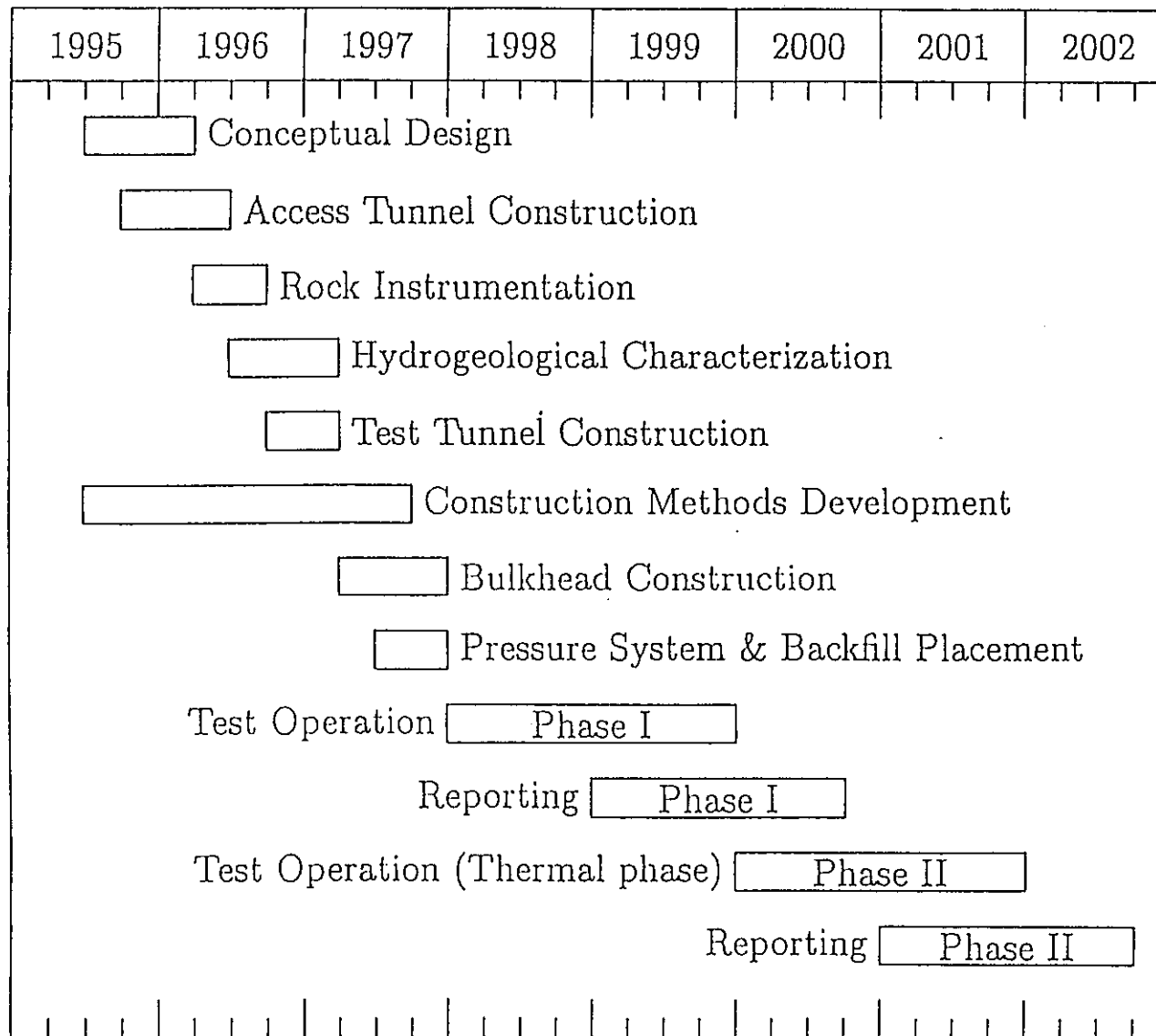


図-3.5 トンネルシーリング試験のスケジュール

SCHEDULE OF BULKHEAD CONSTRUCTION

	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.
<u>Excavation</u>											
Excavation of Test Tunnel	■										
Excavation of Bentonite Key				■							
Excavation of Concrete Key					■						
<u>Plug Construction</u>											
Mixing of Bentonite/Sand & Block Compacting		■	■								
Bentonite Plug Construction						■	■	■			
Installation of Steel Support									■		
Installation of Pressure System				■							
Backfill									■		
Concrete Plug Construction										■	■
<u>Measurement of Bentonite Plug</u>											
Instrumentation & Cable Routing / Sealing						■	■	■	■		
Partition for Ventilation Test										■	■
<u>Other Test</u>											
Rock Mechanics	■	■	■								
EDZ Flow Test		■	■	■							
Construction of Test Bulkhead	■	■	■	■	■						

3-3

図-3.6 トンネルシーリング試験の詳細スケジュール

3.3 粘土プラグ部の施工方法の検討

3.3.1 ベントナイトプラグの形状

ベントナイトプラグの形状については日本側、カナダ側から様々な形状が提案されている(図-3.10)。カナダ側のAECL案1はコンクリートプラグで提案されている形状と同じもので、幅3m、プラグ拡幅部のトンネル軸方向の断面の形状が3角形(構造は円錐形)であることが特徴がある。この形状にすることにより、岩盤とプラグとの隙間を埋めるためのコンタクトグラウトの配管・注入が容易になる、拡幅部の掘削が容易にできるといった利点が得られる。3角形部の傾きをある程度大きくすれば(45°程度)EDZは連続しないという結果が計算上得られているが、4角形の方が岩盤力学的には安定である。また、ベントナイトブロックを主体としたベントナイトプラグの施工を前提としているため、拡幅部が傾斜しているとブロックの積み上げが困難になるという施工上の問題が生じる。これらのことから日本側は基本的に断面形状が4角形(構造は円柱形)のプラグ形状を提案している。カナダ側の別の案(AECL案2)はプラグ全体の幅は3mであるが、拡幅部の幅が2m、断面形状が4角形のものである。

日本側は当初、拡幅部の幅が3m、断面形状が4角形のを提案していた(PNC案1)が、よりプラグの拡幅部の幅が狭くてもEDZに沿った物質の移動遅延効果は得られるとの解析結果から、幅が2mのを提案している(PNC案2, 3)。PNC案2ではプラグに沿ったチャンバー側の埋め戻し部1mに砂、礫、ベントナイトを混合した埋め戻し材を設置することにより、実際の埋め戻し材の施工性の確認と注水時のベントナイトブロックの崩壊を防ぐ役割を期待している。しかし、今回の試験では注水試験期間が2年と短く、この埋め戻し材が試験期間内にプラグへの水の浸入の障害となる可能性があるため、案3ではこれをなくしている。一方で埋め戻し材の施工性を確認する必要があるため、プラグの外側に1mの埋め戻しを行う案になっている。

3.3.2 必要ベントナイト量の計算

トンネルシーリング試験では、ベントナイトブロックの材料として国産ベントナイトを使用することとしており、この材料については日本からカナダ側に提供することになっている。

本試験に必要なベントナイト量の計算を行った結果を図-3.8, 3.9に示す。計算は使用するベントナイトブロックのベントナイトと砂の比率を7:3、乾燥時の密度を1.8g/cm³、含水比を6%、安全率を1.5と見込んで行っている。

図-3.10中のAECL案2では135t、図-3.10中のPNC案1では165tのベントナイトが必要である(図-3.8)。また、図-3.10中のPNC案2, 3では114tのベントナイトが必要である(図-3.9)。以上のARCL案2, PNC案2, 3に対応できるように、日本からクニゲルVIを総量で150t URLに送付する予定である。

3.3.3 ベントナイトブロックの作成方法

基本ベントナイトブロックの大きさは、人間が持ち上げるのに支障のない重さにするために、日本側は図-3.10に示す25cm×25cm×15cmの大きさを提案した。この場合、ブロック1つの重量は含水比6%として約18kgとなる。

ベントナイトブロックの作成方法として、カナダ側は2つの可能性を検討している。1つはカナダ国内の Steinbeckのコンクリート工場 (Barkman Concrete Ltd.) にある Concrete Block Machine を利用する方法、もう一つはアメリカのWIPPで使われている Adobe Brick Maker を利用する方法である。それぞれの利点と欠点を図-3.15に示す。両方の機械を使ってブロック作成試験を実施し、それを基に最終的な作成方法を決定する予定である。

3.3.4 プラグ拡幅部の掘削方法

日本側が提案しているプラグ形状では、拡幅部の掘削に工夫が必要と考えられる。図-3.11は、拡幅部の掘削方法の提案例である。試験坑道の掘削にはラインドリリング等によりEDZを極力小さくするようにしており、拡幅部の掘削においても同様の方法を用いる。断面形状が4角形になるよう拡幅部を掘削するには、図-3.11の①、②の様に方向を変えて掘削し、残りの部分を水平になる様に掘削する(③)方法が考えられる。プラグの形状と拡幅部の掘削方法については、別の坑道 (Room419, 図-3.2参照) で試験的なプラグ施工を実施してから決定する予定である。

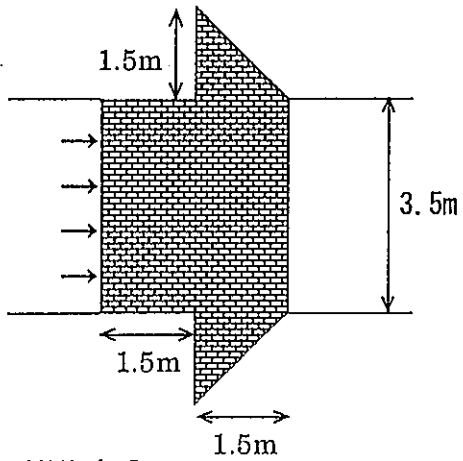
3.3.5 ベントナイトプラグの施工方法

日本側が提案したベントナイトプラグの施工方法を図-3.12に示す。「3.2 全体工程」でも述べた様に、この施工方法では鉄板のプラグサポートを施工上の型枠としているため、鉄板を最初に設置して、プラグの施工、埋め戻しの順に施工することになる。ベントナイトブロックは、奥の鉄板のプラグサポートから手前のチャンバー側に向かって垂直に積み上げる。

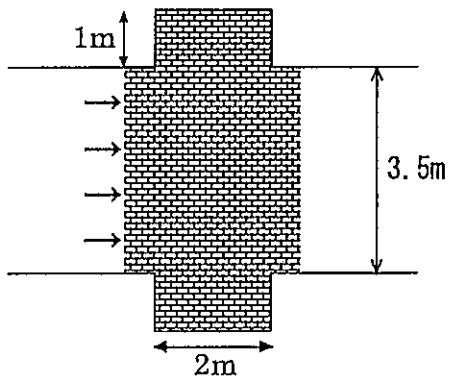
カナダ側の施工方法を図-3.13に示す。「3.2 全体工程」でも述べた様に、最初にプラグを施工して、鉄板のプラグサポートと埋め戻しを同時に施工することになる。ベントナイトブロックは、プラグの両側から積み上げることができる。

図-3.14にプラグ施工に必要な基本ベントナイトブロックの個数を示す。2m幅のプラグの場合、基本ブロックが合計5440個が必要である。計測器の埋設を含め1日に120個積むことができるとして約45.3日、1週間5日として約10週間で施工できることになる。ブロックでカバーしきれない壁面との隙間については、ベントナイトパウダーによる充填や締め固めを行う予定である。

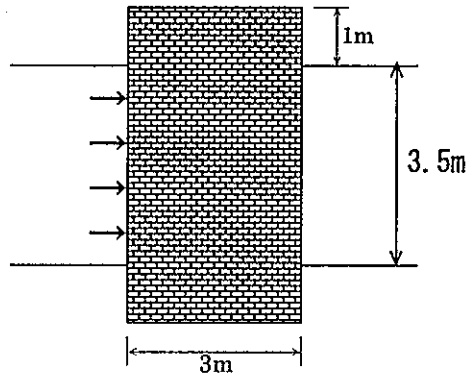
AECL案1



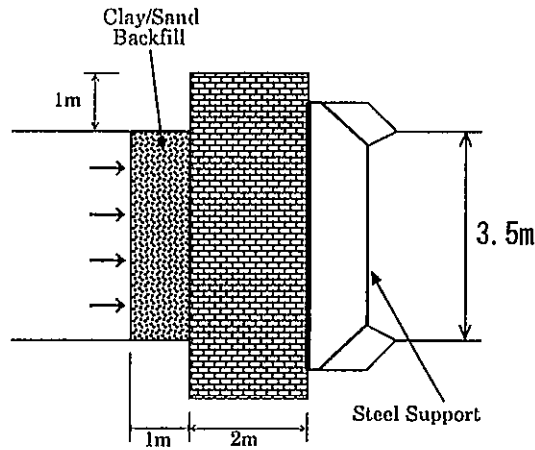
AECL案2



PNC案1



PNC案2



PNC案3

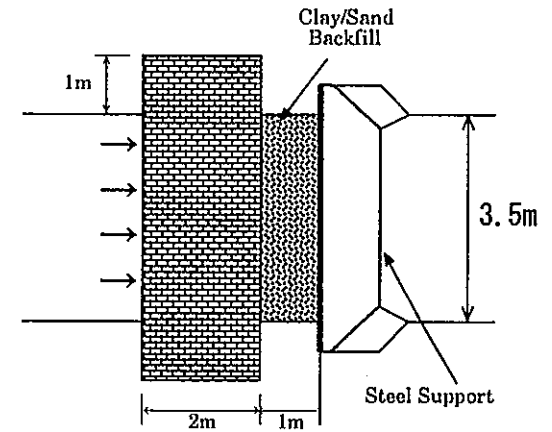
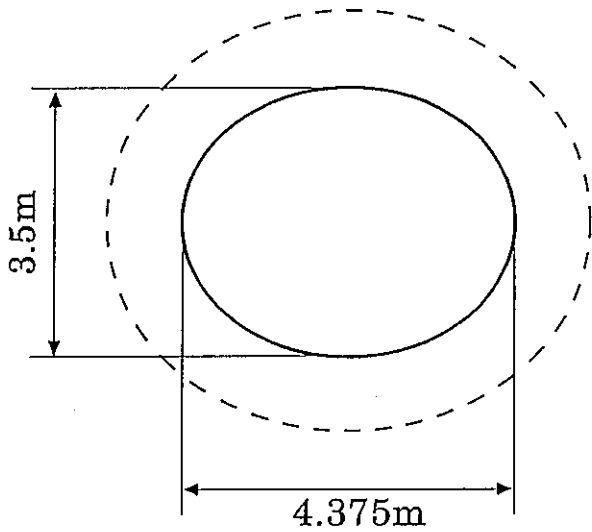
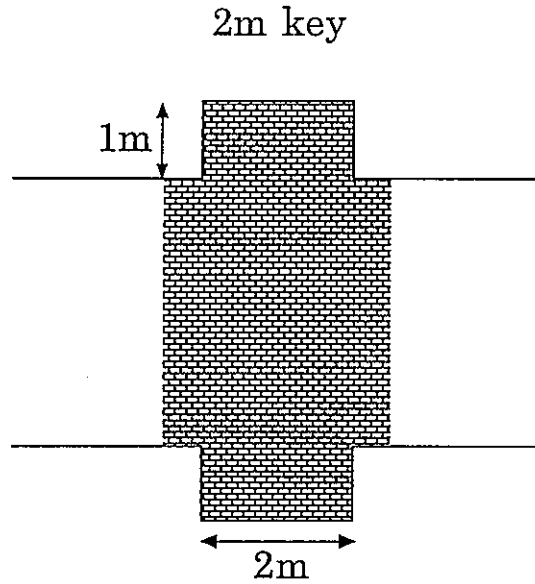


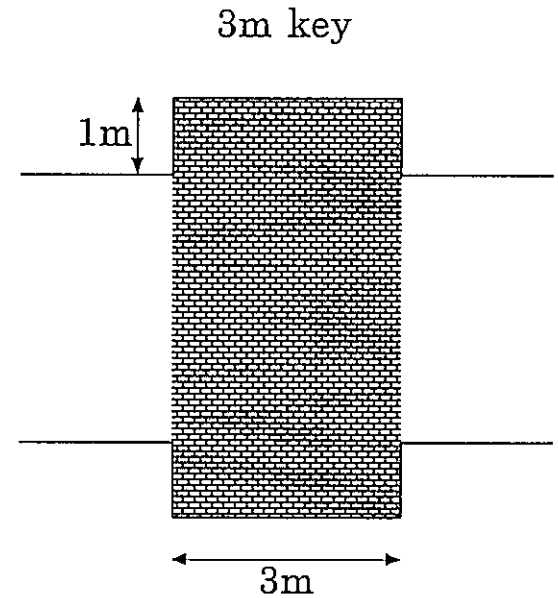
図-3.7 ベントナイトプラグ形状 (案)



乾燥時密度	1.8
bentonite比	70%
含水比	6%
として計算すると,	

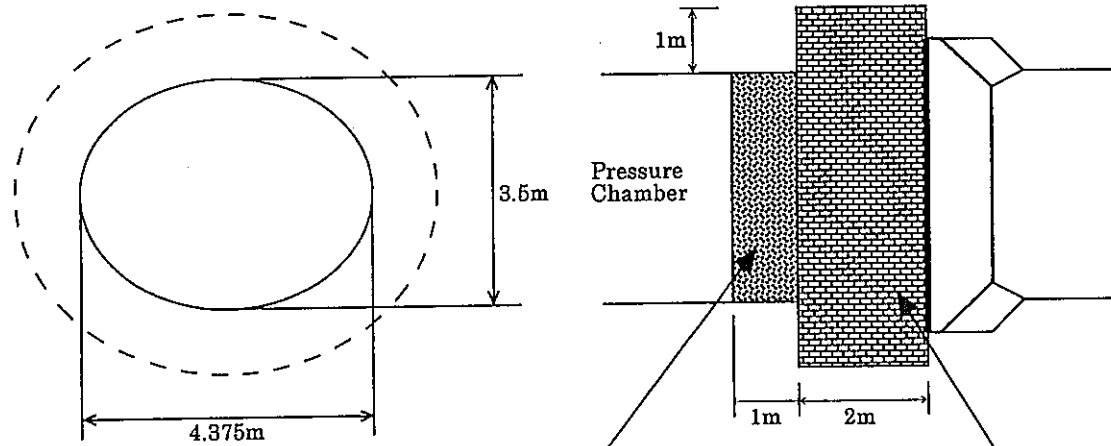


体積Vは	67.1m^3
$67.1 \times 1.8 \times 0.7 \times 1.06$	
=90 t	
安全率 1.5を見込むと	<u>135 t</u>



体積Vは	82.5m^3
$82.5 \times 1.8 \times 0.7 \times 1.06$	
=110 t	
安全率 1.5を見込むと	<u>165 t</u>

図-3.8 必要ベントナイト量の計算 (カナダ案2、日本案1)



Clay/Sand Backfill
 体積Vは 12m^3
 $12 \times 1.8 \times 0.1 \times 1.06$
 $= 2.3\text{t}$

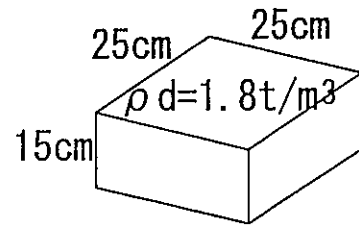
Bentonite Plug
 体積Vは 55m^3
 $55 \times 1.8 \times 0.7 \times 1.06$
 $= 73.5\text{t}$

乾燥密度(埋戻し部は仮定) 1.8
 プラグ部のベントナイト比 70%
 埋戻し部のベントナイト比 10%
 含水比(埋戻し部は仮定) 6%
 として計算すると

合計 $73.5 + 2.3 = 75.8\text{t}$
 安全率1.5を見込むと
113.7t 必要

図-3.9 必要ベントナイト量の計算 (日本案2、3)

提案ブロック形状



$\rho t=18\text{kg}$
(含水比 6%の時)

ブロック成形方法

	<u>Concrete Block Machine</u> (Barkman Concrete Ltd.)	<u>Adobe Brick Maker</u> (WIPP)
利点	<ul style="list-style-type: none"> ・性能がわかっている ・MixingとCompactingが1工程でできる ・URL近くに工場がある (車で1時間) 	<ul style="list-style-type: none"> ・小型で移動可能 ・全工程がURLでできる ・ブロックを運ぶ必要がない
欠点	<ul style="list-style-type: none"> ・Adobe Brick Makerと比べて成形速度は？ ・ブロックをURLまで運ぶ必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・性能がわからない ・ブロック形状が決まっている？

図-3.10 ブロック成形方法の比較

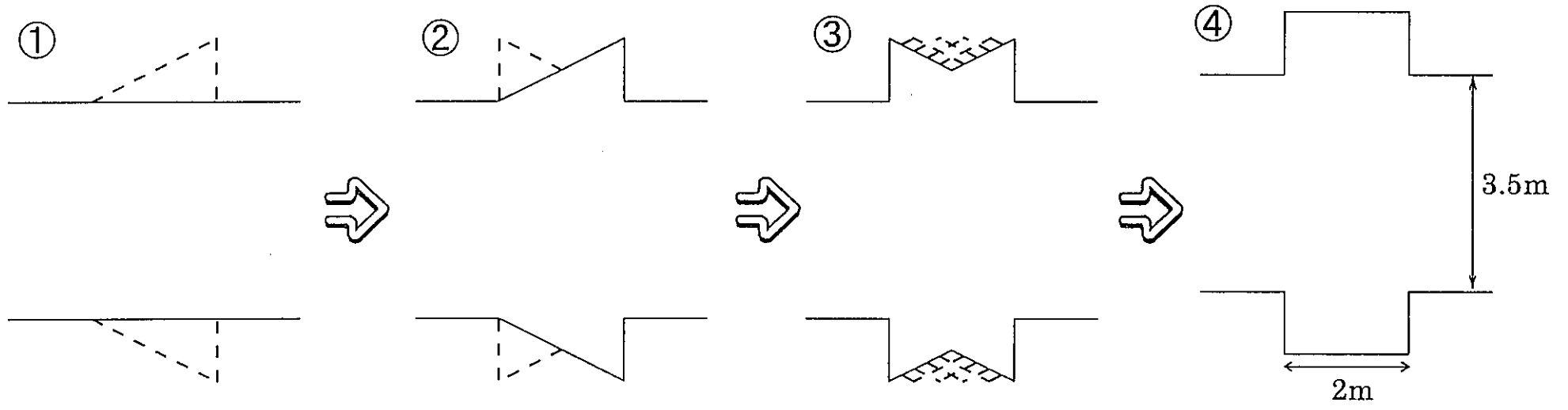


図-3.11 プラグ部の掘削方法

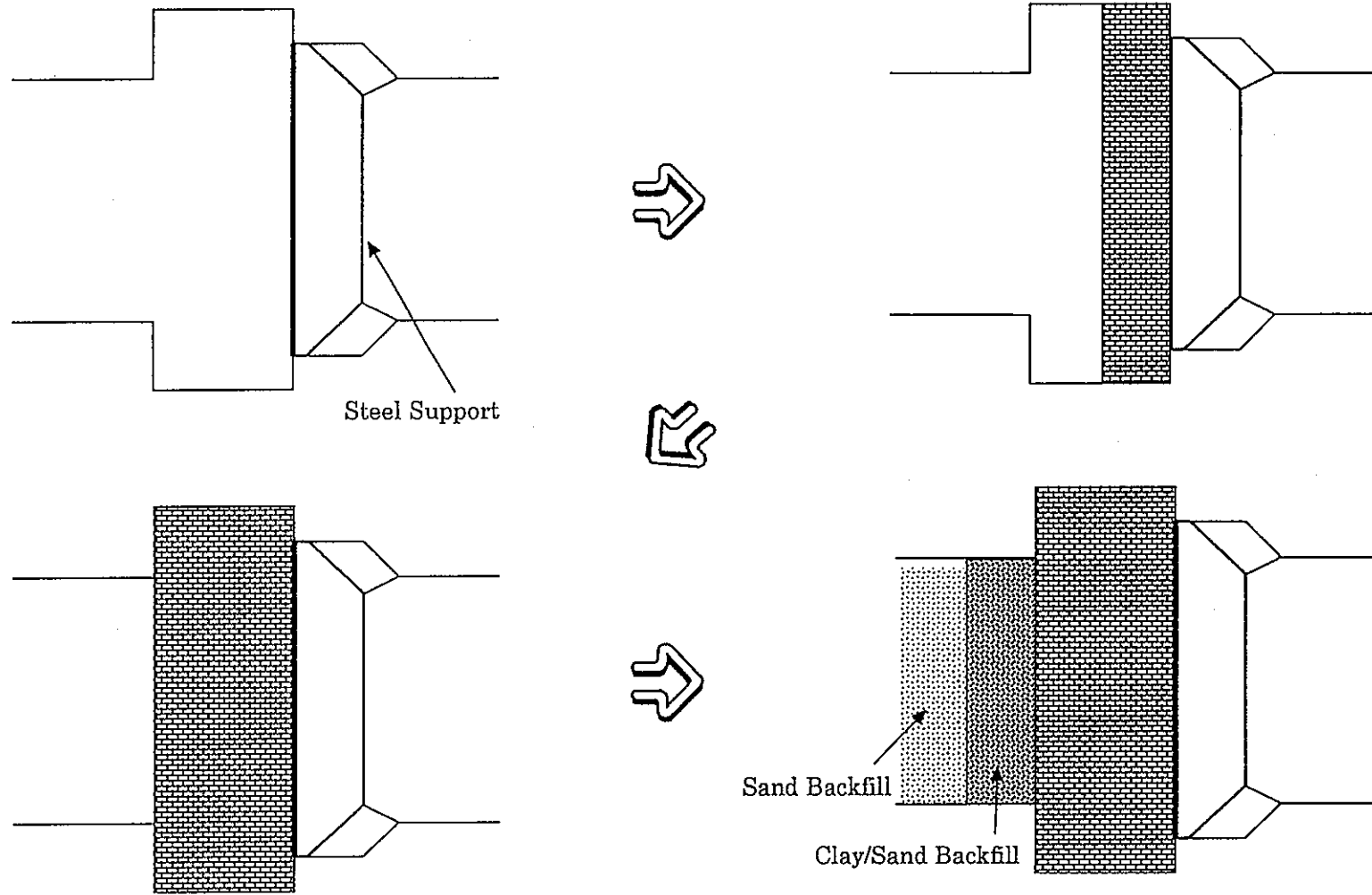


図-3.12 プラグの施工方法(1)

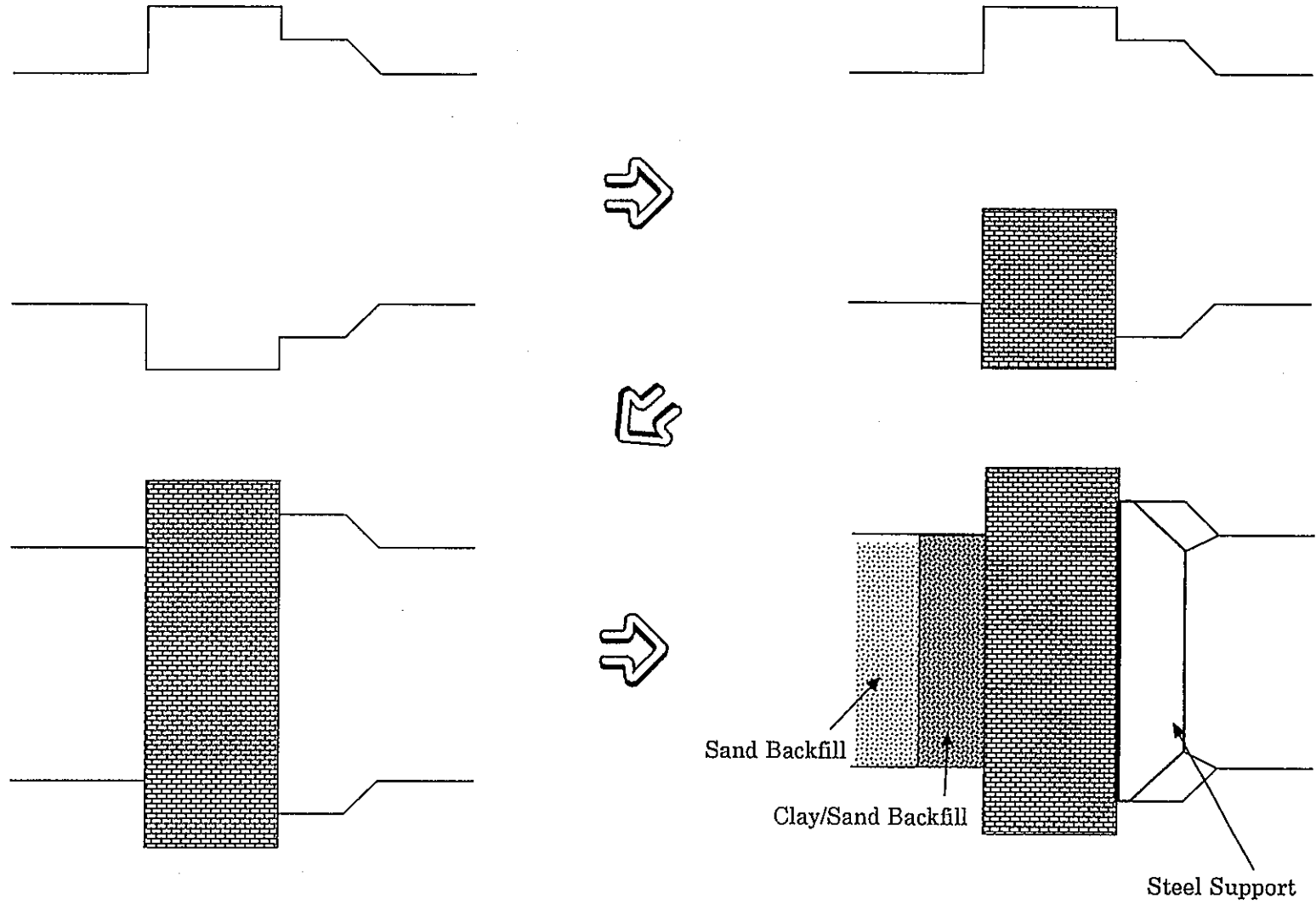
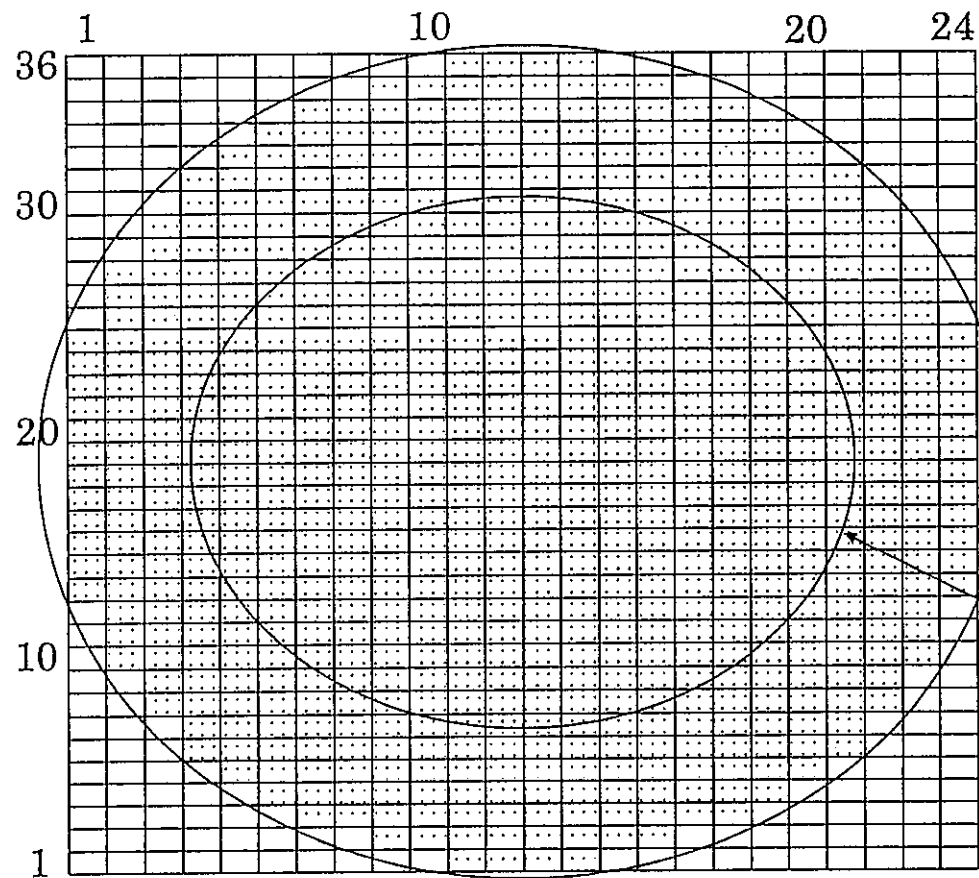


図-3.13 プラグの施工方法(2)



Total Standard Block
 $680 \times 8 = 5440$ blocks

1日に120個ブロックを積めるとすると,
 (計測器埋込みも含む)
 $5440 / 120$ (blocks/day)
 $= 45.3$ days = 10 weeks

プラグ拡幅部

試験坑道

図-3.14 ブロック数の試算結果

3.4 注水チャンバー部の施工方法の検討

3.4.1 注水チャンバー部の埋め戻し

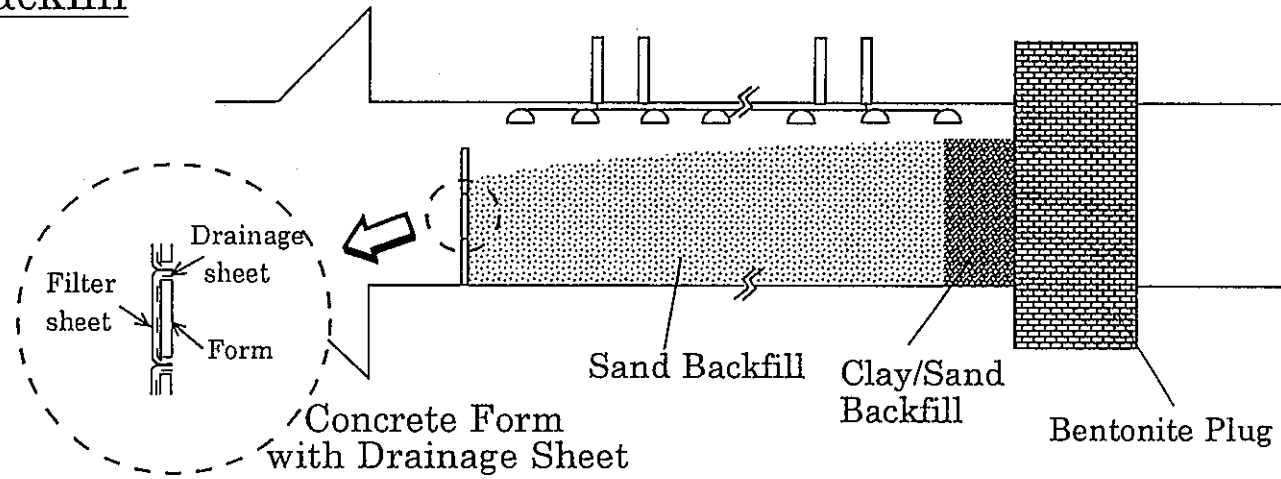
プラグ間の注水チャンバー部は砂で埋め戻すことになっている。これによりベントナイトプラグのチャンバー側への崩壊を防ぐ目的があるため、十分な締め固めをする必要がある。同時にこれによりチャンバー内への注入水量を減らすことができる。埋め戻しに用いる砂の細粒分が多いと、水圧をトンネル全体に十分伝えられず、また、注水装置を詰まらせる可能性があるので注意する必要がある。

コンクリートプラグの施工については、これを最後に施工するためチャンバー側の型枠の処理が問題になる。日本側は、型枠がチャンバー内に残ることによりコンクリートプラグへの水の浸入が妨げられることのない様に、チャンバー側の型枠を透水性のある型枠にすることを提案している（図-3.15）。

3.4.2 注水装置の設置

注水装置は、図-3.16に示すように上部レベル坑道Room419に設置する。これにより、注水用配管をプラグ内に通す必要がなくなり、注水配管による漏水を防ぐことができる。また、フェーズⅡでの温水利用の際に水を循環させるための排水管も設置し、この排水管を利用して注水初期時のチャンバー内のエア抜きをすることも可能である。図-3.17にはカナダ側の提案による注水装置の概念図を示す。考え方は同じであるが、排水管として下部レベル坑道Room421も利用する点が日本側と異なっている。

Backfill



Concrete Plug Construction

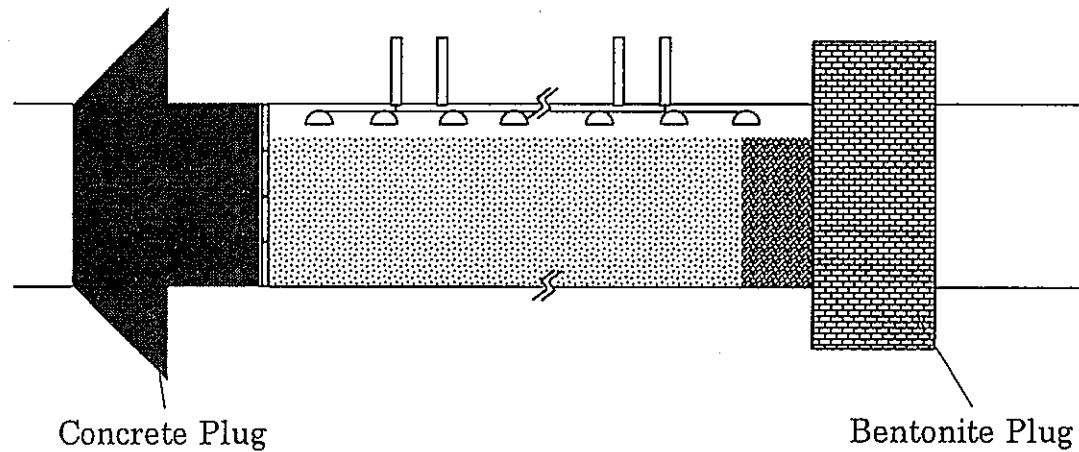


図-3.15 注水エリアの施工方法

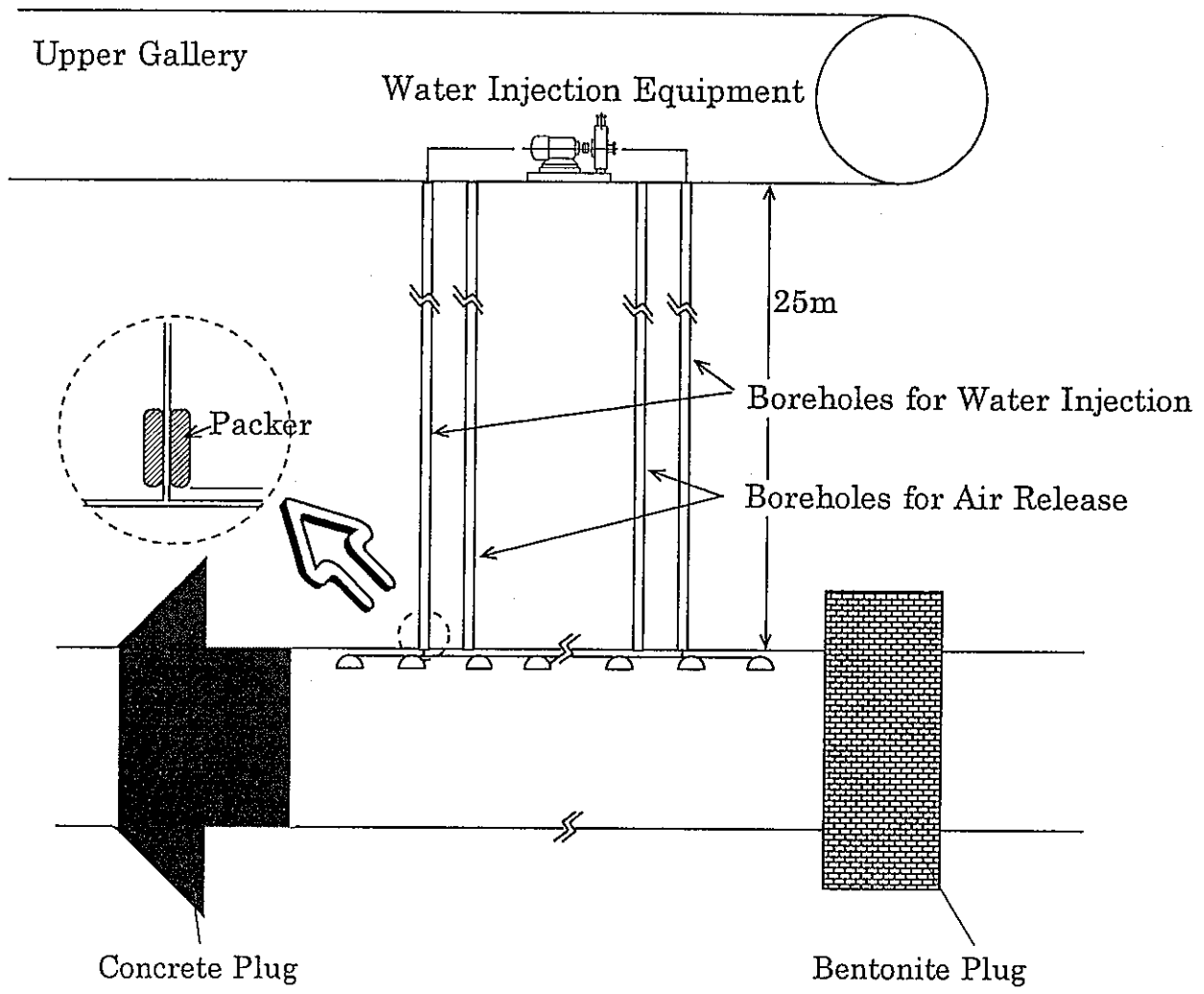


図-3.16 注水装置とエア抜き方法

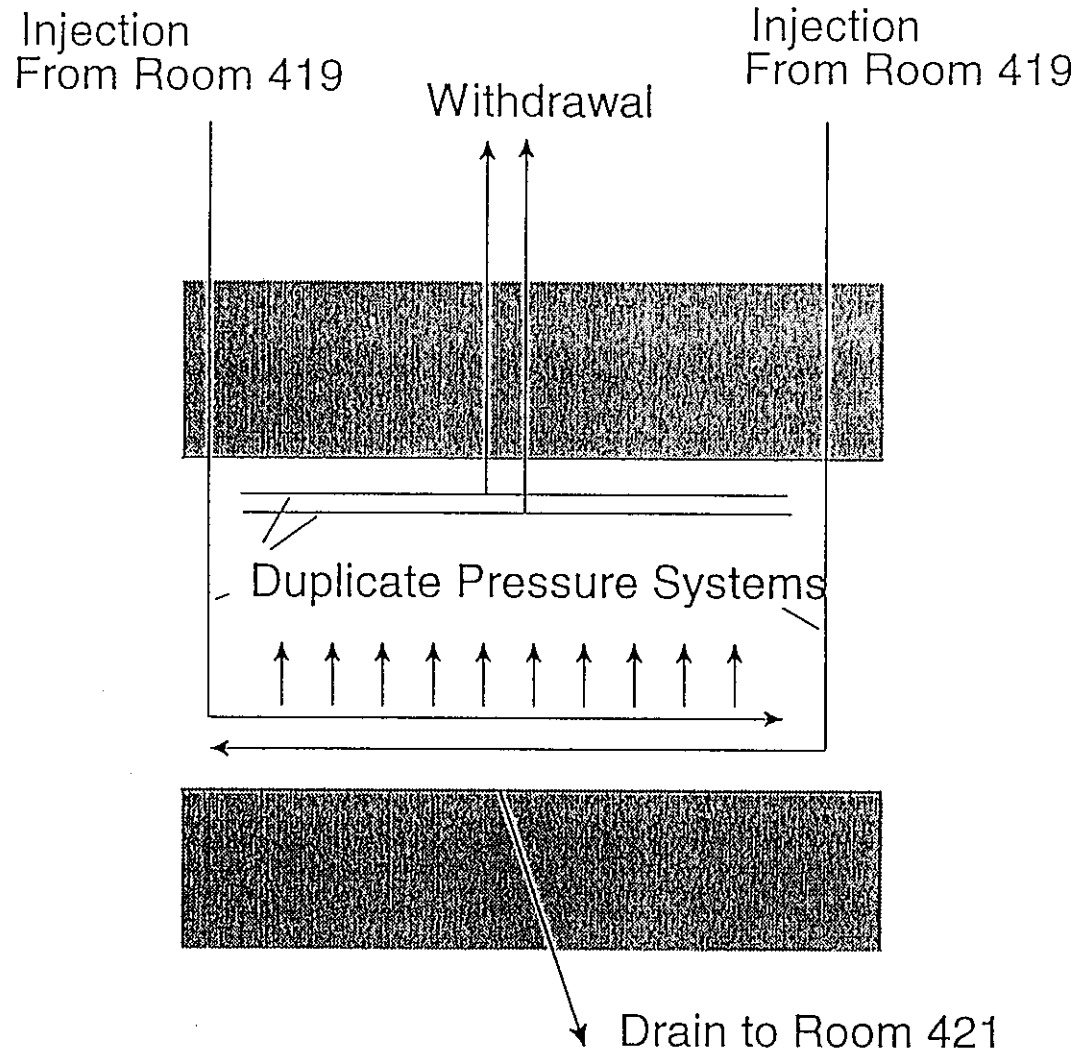


図-3.17 A E C L の注水装置設置案

3.5 プラグサポート工法の検討

3.5.1 プラグサポート工法の検討の概要

本検討は「AECL/PNC共同研究 シーリング原位置試験」においてGOLDERSが作成したプラグサポート工法の試案について、応力的な概略検討を行ったものである。

- ① LHHPC UN-REINFORCED BULKHEAD
(無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱)
- ② STEEL BULKHEAD
(鋼製隔壁－鋼製支柱)
- ③ STEEL BULKHEAD WITH REINFORCED LHHPC COUNTERFORTS
(控え擁壁による鋼製隔壁)
- ④ LHHPC UN-REINFORCED KEYED BULKHEAD
(無筋コンクリート製隔壁)

以上4ケースの成立性の概略検討結果を表-3.1 に示す。

検討条件としては、

仕様材料 コンクリート： $\sigma_{ck}=29.4\text{MPa}$ (300kgf/cm²) / 鋼材：SM570

岩盤物性 $C=0.98\text{MPa}$ (10kgf/cm², ゆるみを考慮) / $\phi=40^\circ$ と設定した。

①案はコンクリート隔壁に生じる引張応力が大きく、成立性は低いと考えられる。②案は部材寸法の見直しを行えば応力的には成立すると思われる。③案はロックアンカーを使用する点で特徴的であるが、引き抜き力がかなり大きく成立は困難であると思われる。④案は原案ではコンクリートが破壊する危険性があるが、部材厚の変更・鉄筋の配置によって成立性も考えられる。

以上より応力的な立場からは②案の成立性が高いと判断した。ただし、②案は溶接等、施工的に困難であると考えられるため、図-3.23に原案を修正した案を示す。修正後の特徴は、鋼製隔壁をボックス構造化し、工場製作後に現地でボルト締めを行うというものである。また、修正案では鋼製支柱の代わりにコンクリートで反力を地盤に伝える構造とした。

参考のため、各ケースの施工性等についての比較を表-3.2 に示す。

表-3.1 各工法の力学的成立性

	①	②	③	④
概要図				
力学的成立性*)	コンクリートが引張破壊するため、成立性は低い。	成立する可能性がある。ただし、施工性を考慮して部材を変更する必要がある。	ロックアンカーで転倒を防止するので問題がある。原案では控え壁と底版との一体化が問題である。	コンクリートが引張破壊するため、原案の成立性は低い。
判定	×	○	×	△(部材厚変更・鉄筋配置)

*) 検討条件；仕様材料 コンクリート： $\sigma_{ck}=29.4\text{MPa}$ (300kgf/cm^2) / 鋼材：SM570
 岩盤物性 $C=0.98\text{MPa}$ (10kgf/cm^2 , ゆるみを考慮) / $\phi=40^\circ$

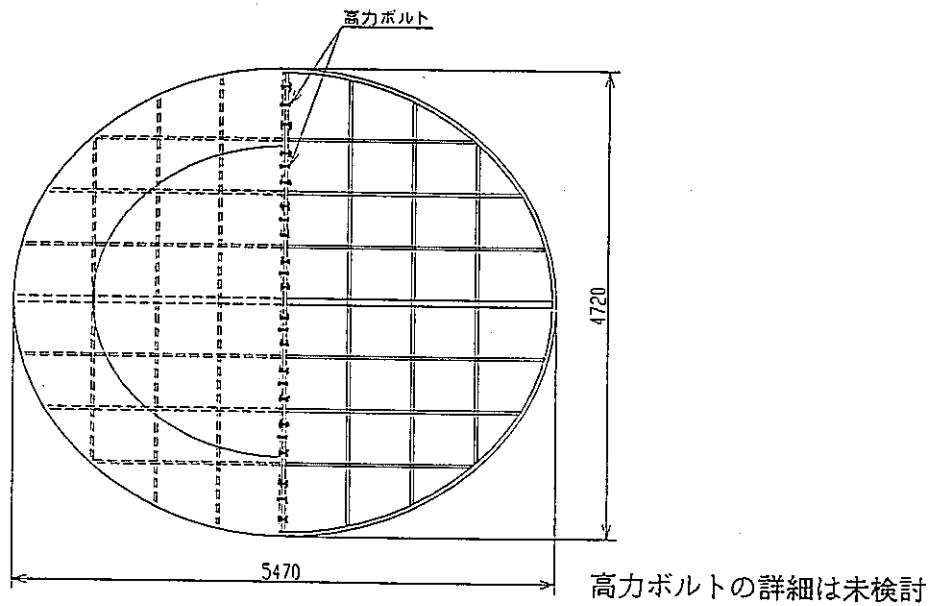
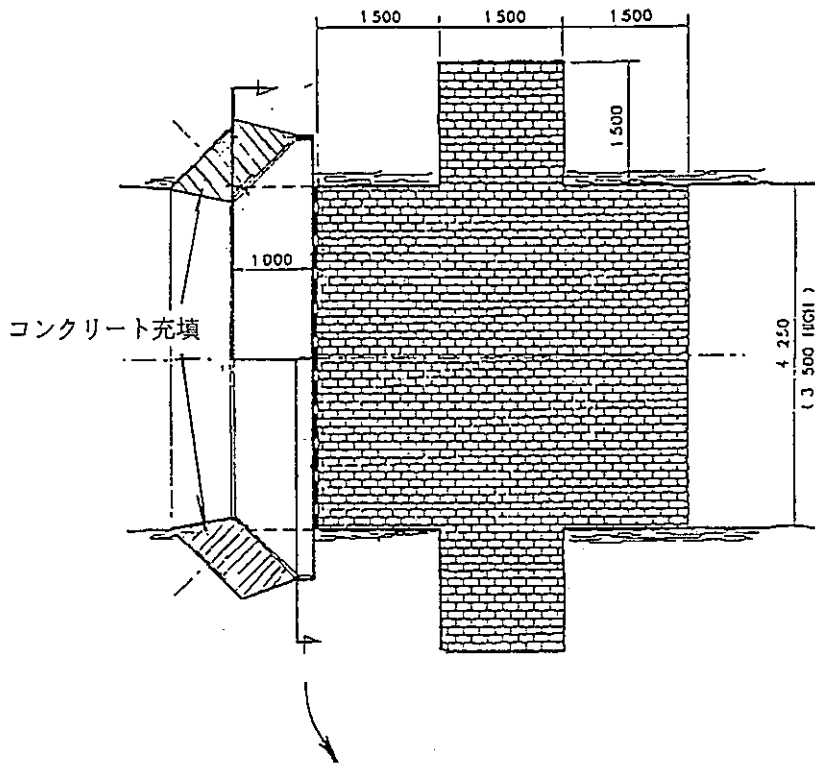


図-3.18 ②案の修正案

表-3.2 各工法の比較

	①	②	③	④
力学的成立性	成立性は低い。	成立する可能性がある。	成立性は低い。	成立性は低い。
施工性	普通	普通	普通	良
計測	プラグ内の計測器の多数の配線をコンクリート中に埋め込む必要がある。	プラグを通過した水と EDZ を通過した水の区別ができない。		プラグ内の計測器の多数の配線をコンクリート中に埋め込む必要がある。プラグを通過した水と EDZ を通過した水の区別ができない。

3.5.2 各工法の仕様

トンネル断面の楕円形状は現段階では 4375(横)×3500(高さ)とされているが、今回は GOLDERS の原案に対する評価として、4250(横)×3500(高さ)を用いて検討を行う。

①. LHHPC UN-REINFORCED BULKHEAD (無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱)

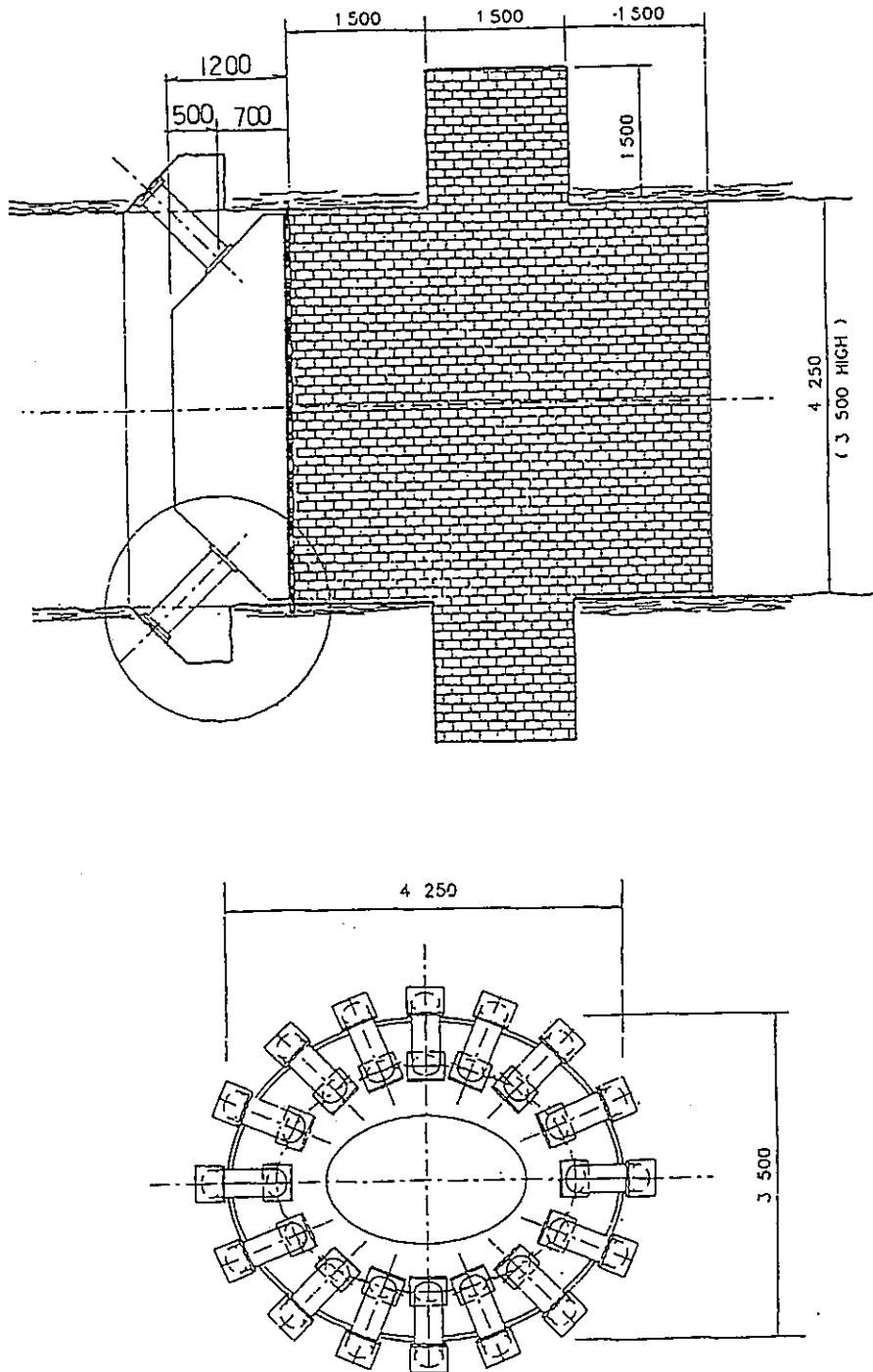


図-3.19 「無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱」工法の概要

②. STEEL BULKHEAD
 (鋼製隔壁—鋼製支柱)

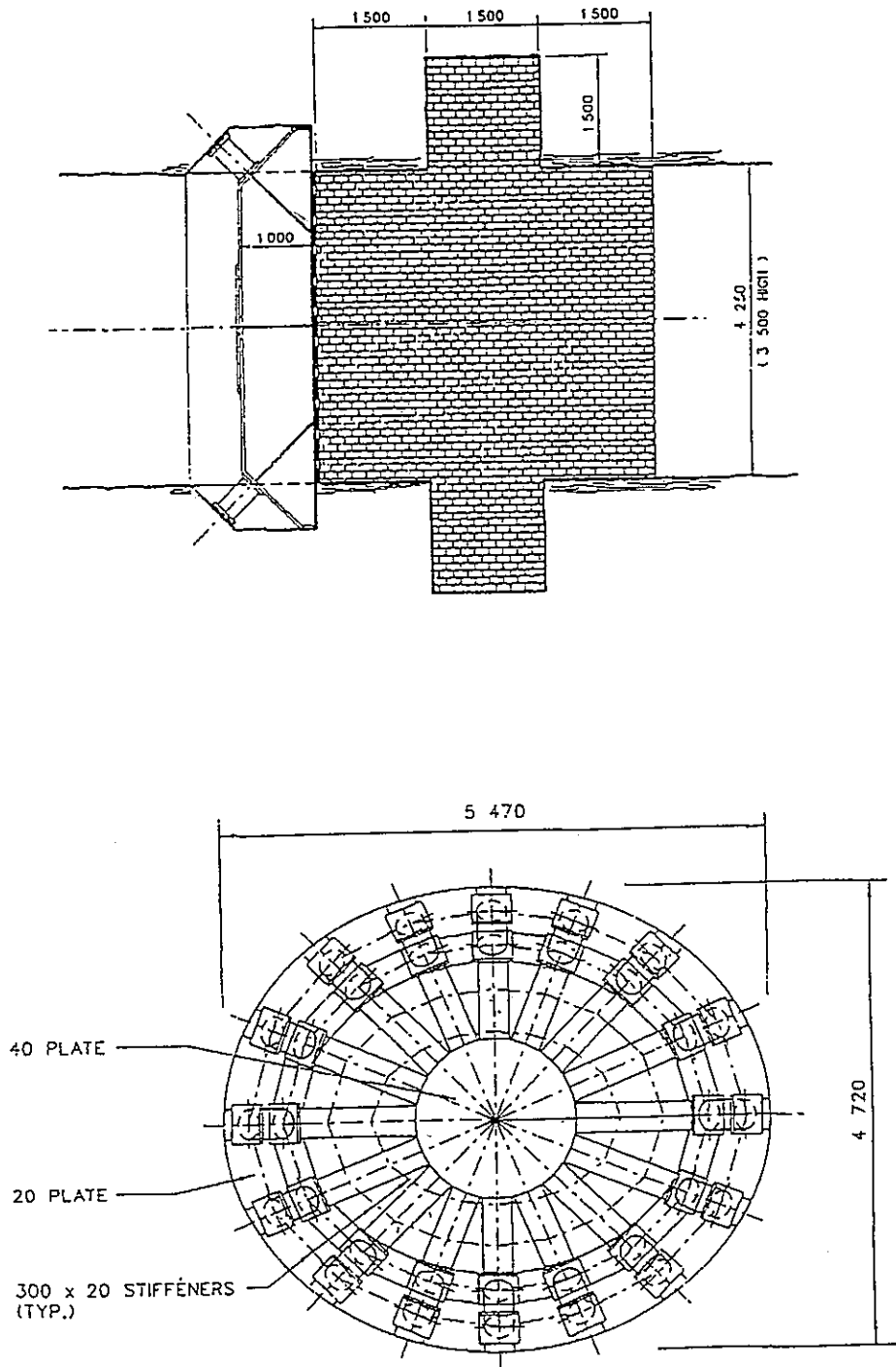


図-3.20 「鋼製隔壁—鋼製支柱」工法の概要

③. STEEL BULKHEAD WITH REINFORCED LHHPC COUNTERFORTS
 (控え擁壁による鋼製隔壁)

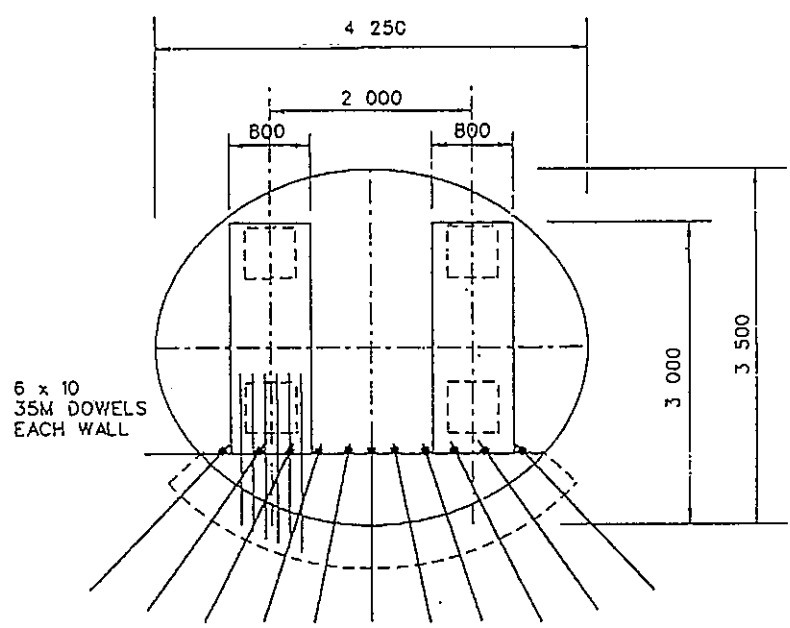
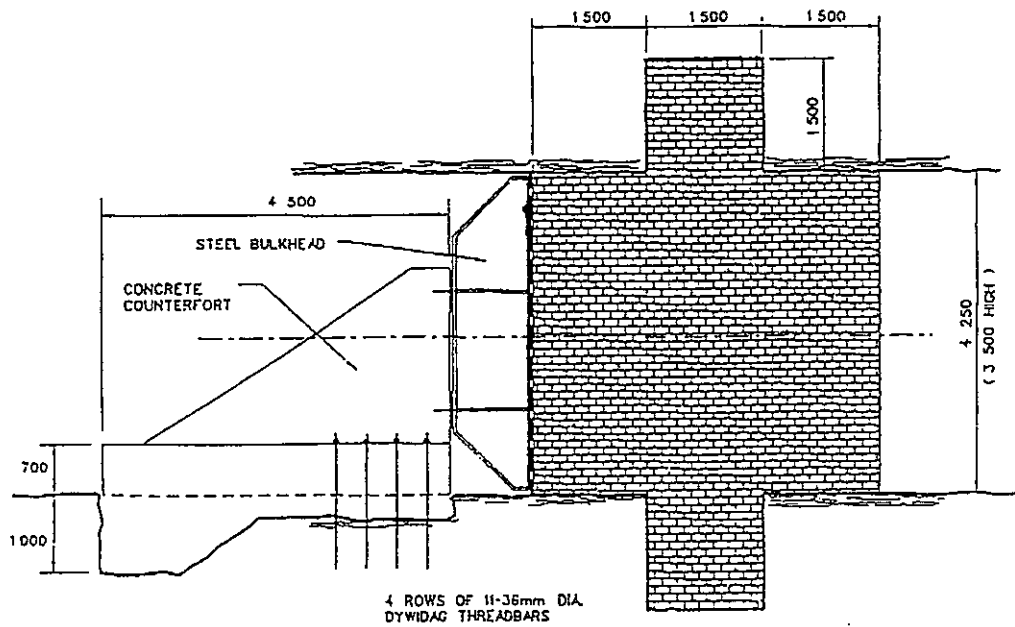


図-3.21 「控え擁壁による鋼製隔壁」工法の概要

④. LHHPC UN-REINFORCED KEYED BULKHEAD
(無筋コンクリート隔壁)

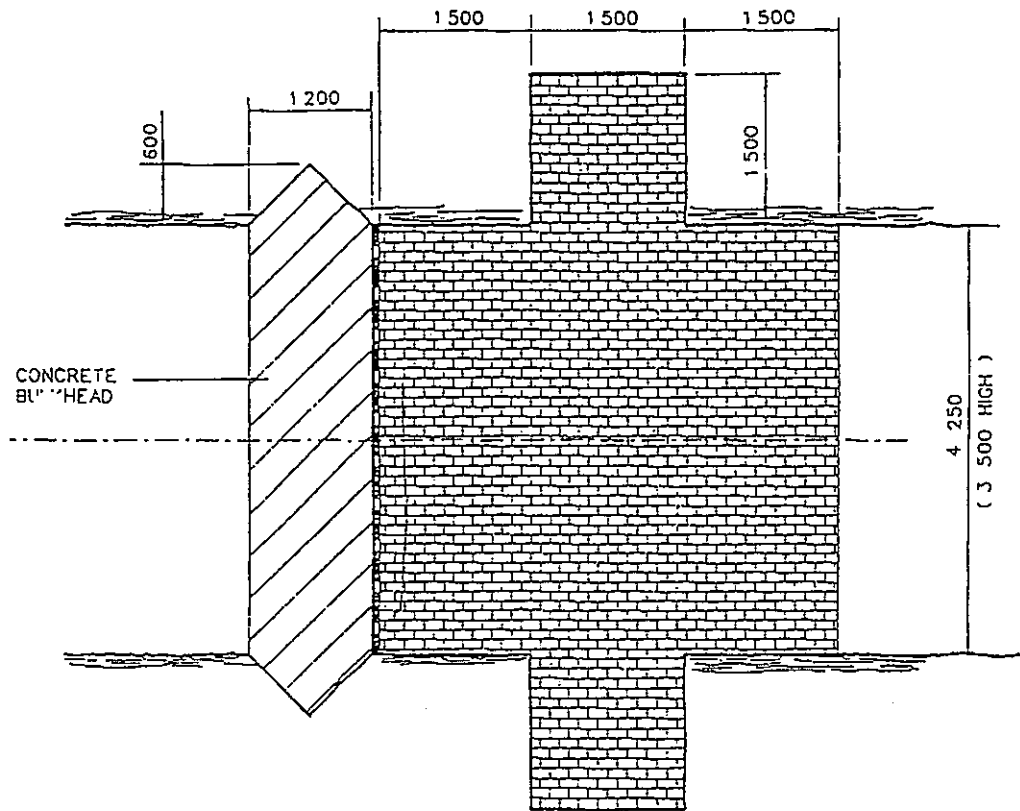


図-3.22 「無筋コンクリート隔壁」工法の概要

3.5.3 検討条件

(i) 照査項目

成立可能といえるためには、各工法について少なくとも以下の項目に対して応力的に安全であることを照査しなければならない。

①. LHHPC UN-REINFORCED BULKHEAD

(無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱)

1. コンクリート隔壁の応力
2. 鋼製支柱の応力
3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊

②. STEEL BULKHEAD

(鋼製隔壁－鋼製支柱)

1. 鋼製隔壁の応力
2. 鋼製支柱の応力
3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊

③. STEEL BULKHEAD WITH REINFORCED LHHPC COUNTERFORTS (控え擁壁による鋼製隔壁)

1. 鋼製隔壁の応力
2. コンクリート隔壁の応力
3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊
4. アンカーの引き抜き

④. LHHPC UN-REINFORCED KYED BULKHEAD

(無筋コンクリート隔壁)

1. コンクリート隔壁の応力
2. 岩盤の圧縮破壊

上に挙げた照査項目に対して検討を行い、1項目でも成立不能と判定された場合は検討をそれまでとする。

(ii) 岩盤の物性値

「 Technical Summary of AECL's Mine-by Experiment

Phase 1 : Excavation Response 」

によると、サイトの岩盤は花崗岩もしくは花崗閃緑岩である。上記レポートより、

一軸圧縮強度： $S_c =$ 約 200MPa (20,000tf/m²)

単位体積重量： $\rho = 2.7$ tf/m³

と設定する。

また日本鉱業会誌(1986)で取りまとめられた花崗岩及び閃緑岩の岩石強度試験結果を参考に以下の値を設定する。

粘着力： $C = 19.6$ MPa (200kgf/cm²)

内部摩擦角： $\phi = 40^\circ$

ただし、粘着力Cについては掘削による緩みを考慮し、原位置において9.81MPa (10kgf/cm²)に低減されるものと仮定してすべり破壊の検討を行うこととする。

(iii) 許容応力度

コンクリート及び鋼製支保の材質(強度)が不明であるため、許容応力度は下記の日本の基準(日本道路協会：道路橋示方書)を参考とし、

コンクリートの設計基準強度： $\sigma_{ck} = 29.4$ MPa (300kgf/cm²)

支保鋼材の鋼種： $S M 570$ として検討を行う。

コンクリートの許容圧縮応力度および許容せん断応力度 (kgf/cm²)

(日本道路協会：道路橋示方書より)

		コンクリートの設計基準強度(σ_{ck})			
応力度の種類		210	240	270	300
圧縮応力度	曲げ圧縮応力度	70	80	90	100
	軸圧縮応力度	55	65	75	85
せん断応力度	コンクリートのみでせん断力を負担する場合(τ_{s1})	3.6	3.9	4.2	4.5
	斜引張鉄筋と協同して負担する場合(τ_{s2})	16	17	18	19
	押抜きせん断応力度(τ_{s3})	8.5	9	9.5	10

無筋コンクリートの許容応力度 (kgf/cm²)
 (日本道路協会：道路橋示方書より)

応力度の種類	許容応力度	備 考
圧縮応力度	$\frac{\sigma_{ck}}{4} \leq 55$	σ_{ck} ：コンクリートの設計基準強度 σ_{tk} ：コンクリートの設計基準引張強度 (JIS A 1113の規定による)
曲げ引張応力度	$\frac{\sigma_{tk}}{7} \leq 3$	
支圧応力度	$0.3 \sigma_{ck} \leq 60$	

(3) 無筋コンクリートの許容値を定めたものである。コンクリートの許容曲げ引張応力度については、 $\sigma_{tk}/7$ のかわりに $\sigma_{ck}/80$ を目安にしてもよい。

構造用鋼材の許容応力度 (kgf/cm²)
 (日本道路協会：道路橋示方書より)

区分		鋼材記号		SS 400	SM 490	SM 490 Y	SM 570
				SM 400	SMA 490	SM 520	SMA 570 W
		SM 400 W		SKK 490	SM 490 W	SM 520	SMA 570 W
		SKK 400		SKY 490	SM 490 W	SM 520	SMA 570 W
		SKY 400		SKY 490	SM 490 W	SM 520	SMA 570 W
母 材 部		引 張	1,400	1,900	2,100	2,600	2,600
		圧 縮	1,400	1,900	2,100	2,600	2,600
		せん断	800	1,100	1,200	1,500	1,500
溶 接 部	工場溶接	グループ	1,400	1,900	2,100	2,600	2,600
		溶 接	1,400	1,900	2,100	2,600	2,600
		せん断	800	1,100	1,200	1,500	1,500
	すみ肉接	せん断	800	1,100	1,200	1,500	1,500
	現場溶接	引 張	各応力度について工場溶接部の90%とする。				
		圧 縮					
		せん断					

(iv) 設計荷重

設計荷重はベントナイトプラグに約 4 MPa (400tf/m²) の等分布荷重が作用するものとして算定する。

ここで、プラグサポートに作用する総荷重は、

$$\begin{aligned}
 P &= A \times w \\
 &= \frac{\pi \times 4.25 \times 3.5}{4} \times 400 \\
 &= 4673 \text{ tf}
 \end{aligned}$$

ここで、A：断面積

w：等分布荷重

P：総荷重

(v) 照査結果

①. LHHPC UN-REINFORCED BULKHEAD

(無筋コンクリート製隔壁－鋼製支柱)

- | | |
|------------------|---|
| 1. コンクリート隔壁の応力 | × |
| 2. 鋼製支柱の応力 | － |
| 3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊 | － |

②. STEEL BULKHEAD

(鋼製隔壁－鋼製支柱)

- | | |
|------------------|---|
| 1. 鋼製隔壁の応力 | ○ |
| 2. 鋼製支柱の応力 | ○ |
| 3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊 | ○ |

③. STEEL BULKHEAD WITH REINFORCED LHHPC COUNTERFORTS

(控え擁壁による鋼製隔壁)

- | | |
|------------------|---|
| 1. 鋼製隔壁の応力 | ○ |
| 2. コンクリート隔壁の応力 | ○ |
| 3. 岩盤の圧縮破壊／すべり破壊 | ○ |
| 4. アンカーの引き抜き | × |

④. LHHPC UN-REINFORCED KYED BULKHEAD

(無筋コンクリート隔壁)

- | | |
|----------------|---|
| 1. コンクリート隔壁の応力 | × |
| 2. 岩盤の圧縮破壊 | － |

凡 例

- ：成立
×：成立不能
－：検討不要

3.6 計測方法の検討

3.6.1 ベントナイトプラグ内の計測

日本側が提案している計器の数量と配置を表-3.3, 図-3.23に示す。チャンバー内の水がベントナイトプラグ内へ湿潤するには時間がかかるとの想定から、チャンバー側に密になる様な計器の配置にした。また、計器の埋設方法を図-3.24の様にブロック内に埋め込む形にするため、⑥断面はチャンバー側から2列目のブロックに相当する30cmの位置になる。各埋設計器やケーブルの仕様を図-3.25~3.28に示す。

表-3.4にカナダ側の提案している計器の数量を示す。hygrometerはpsychrometerでは測定限界の湿度18%以下の湿度の計測に用いる。表-3.5には各埋設計器の仕様を示す。

3.6.2 湧水量の測定方法

プラグ内への水の浸透に関しては3.6.1で述べた計器で測定を行うが、プラグ内を浸透した水の総量については鉄板のプラグサポートに取り付けたバルブから集水瓶へ集めることにより測定する提案を日本側は行っている(図-3.29)。また、バルブを閉めることにより、取り付けた圧力変換器で水圧を測定できるようにする。EDZを通過してきた水に関しては、堰を設けその中での水の水位により測定を行う予定である。また、EDZを通過してきた水の量が非常に微量である場合には、堰を設けての測定は不可能であるため、図-3.30に示すようにプラグの外側にベンチレーション室を設け、その中での蒸発散量により測定を行う。

表-3.3 ベントナイトプラグ中の埋設計器

INSTRUMENTS FOR BENTONITE PLUG

Instruments	Sect. ①	Sect. ②	Sect. ③	Sect. ④	Sect. ⑤	Sect. ⑥	Total
Thermocouple Psychrometer		2 1	2 5	2 5	2 5	2 5	1 2 1
Piezometer				4		4	8
Earth Pressure Cell (Radius Direction)	4		4		4		1 2
Earth Pressure Cell (Axis Direction)	4		2		2		8
Total	8	2 1	3 1	2 9	3 1	2 9	1 4 9

ARRANGEMENT OF INSTRUMENTS FOR BENTONITE PLUG

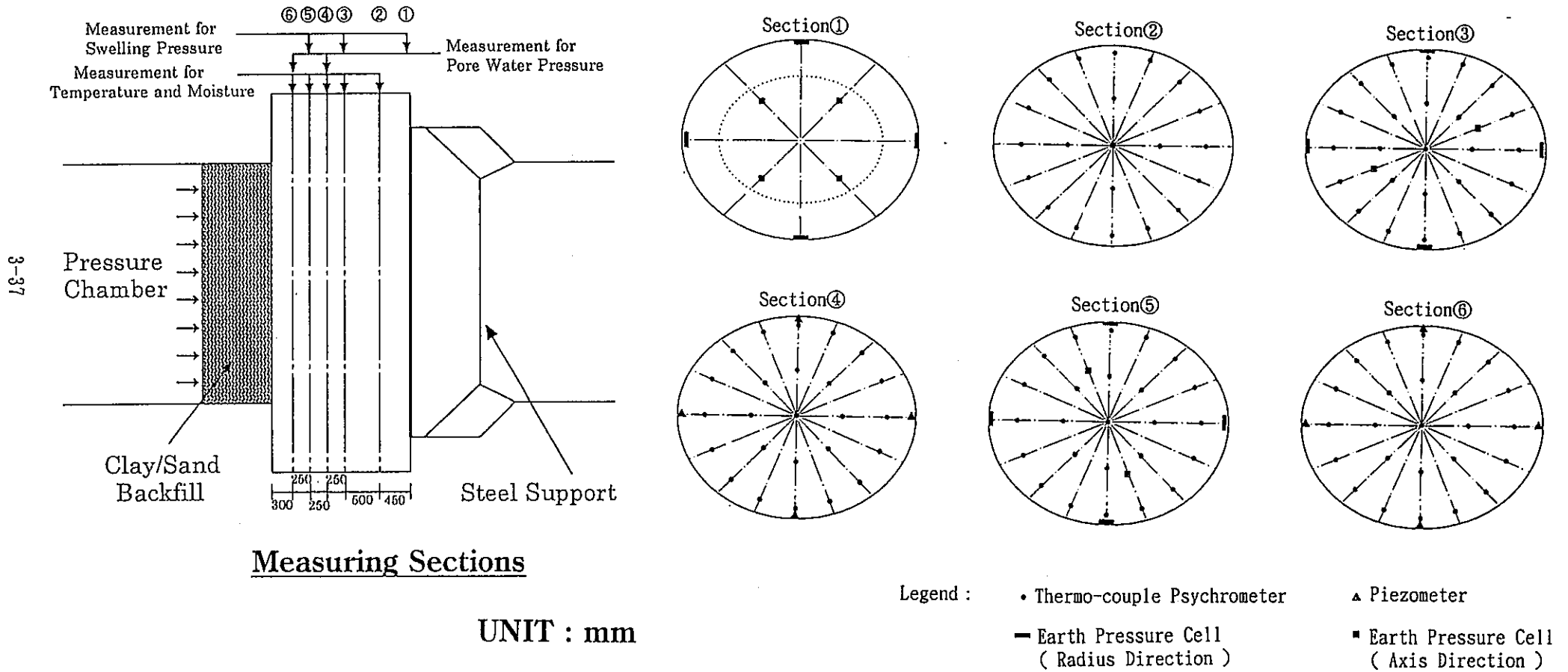


図-3.23 プラグ断面ごとの埋設計器配置

INSTALLATION OF SENSOR

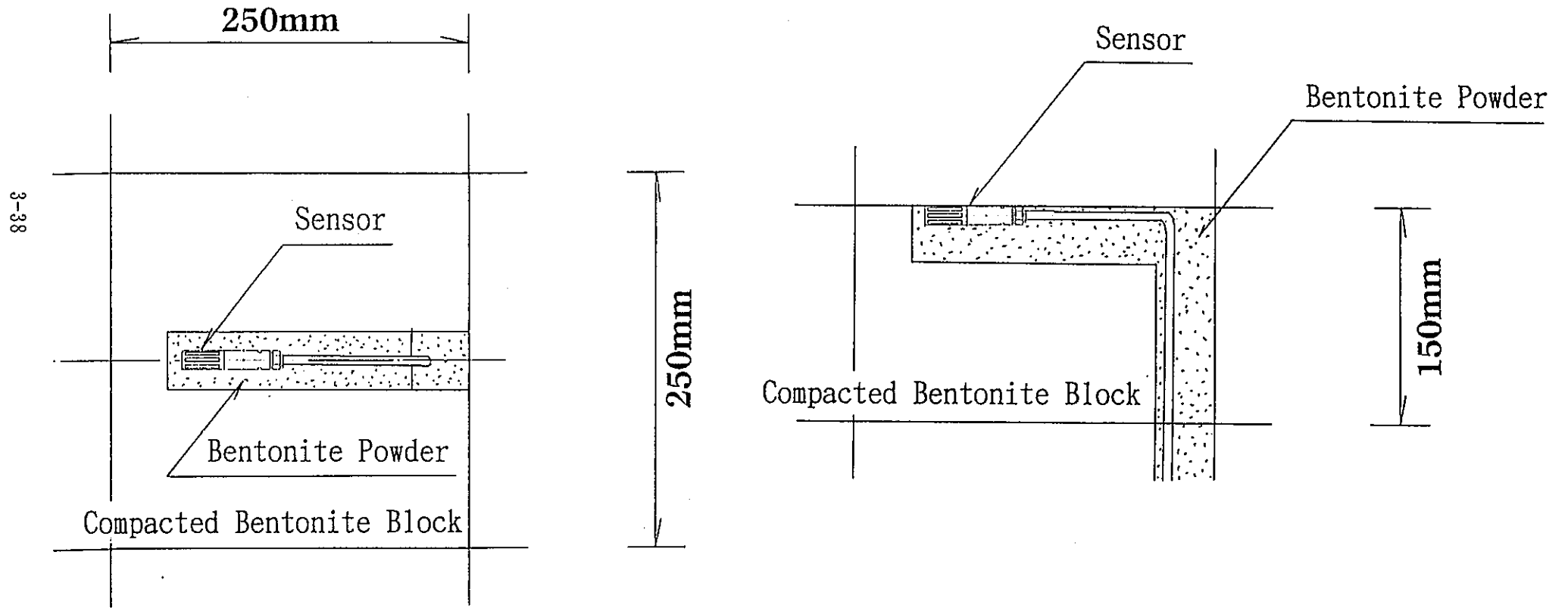


図-3.24 ブロック中へのセンサーの埋設方法

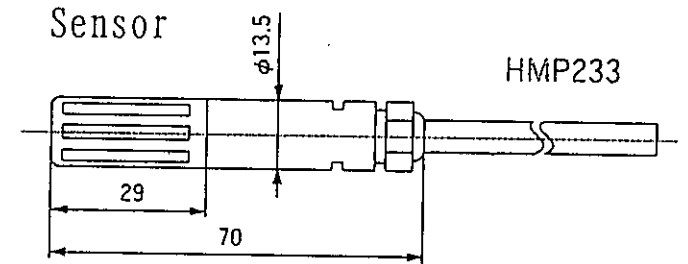
SPECIFICATION FOR THERMOCOUPLE PSYCHROMETER

ID Name	HMP233H	
Manufacturer	Vaisala Co. Ltd.	
Humidity Range	0~100% R. H.	
humidity Accuracy	±2% R. H. (0~90% R. H.)	*1
	±3% R. H. (90~100% R. H.)	
	±1% R. H. (0~90% R. H.)	*2
	±2% R. H. (90~100% R. H.)	
Temperature Range	-40~120°C	
Temperature Accuracy	±0.1°C (20°C)	
Cable Length	2, 5, 10m	

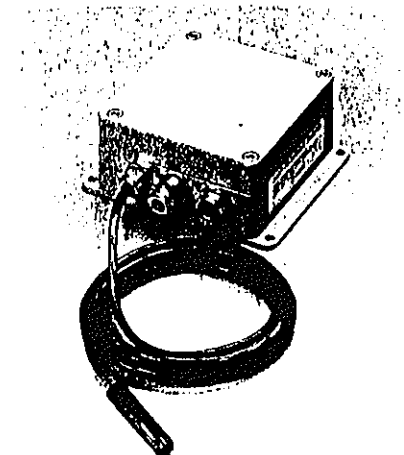
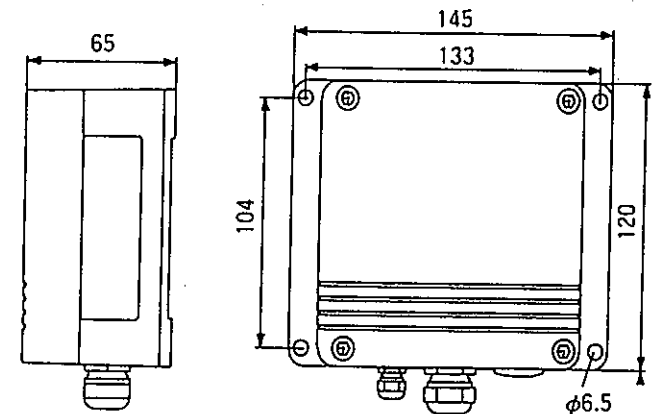
Note

- *1: accuracy (including nonlinearity and repeatability) when calibrated against salt solutions (ASTM E104-85)
- *2: maximum achievable accuracy when calibrated against high-quality, certified humidity standards

図-3.25 埋設計器の仕様 (Thermocouple Psychrometer)



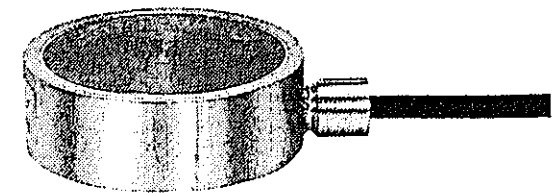
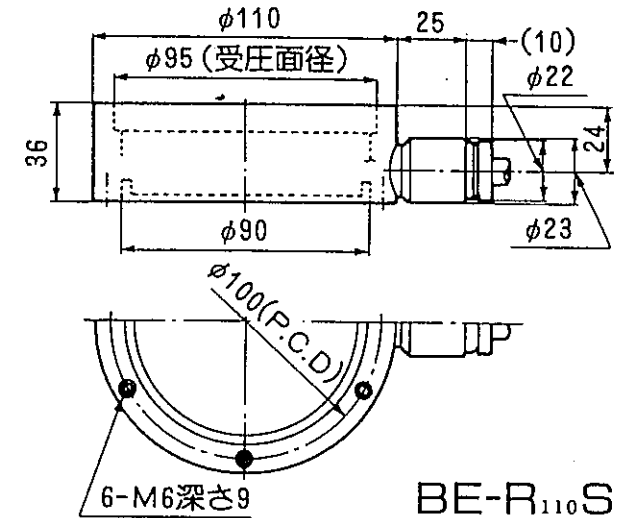
Transducer



SPECIFICATION FOR EARTH PRESSURE CELL

ID Name	BE-50KRS,...
Manufacturer	KYOWA Electronic Instruments
Pressure Range	50kg/cm ²
Temperature Range	-30~80°C
Rated output	1mV/V (2,000×10 ⁻⁶ strain)
Non-linearity	1% R. O.
Excitation voltage (max)	10V
Bridge resistance	350Ω
Safe overload rating	120% R. O.

Sensor



BE-R₁₁₀S

図-3.26 埋設計器の仕様 (Earth Pressure Cell)

SPECIFICATION FOR PIEZOMETER

ID Name	BP-60KCT
Manufacturer	KYOWA Electronic Instruments
Pressure Range	60kg/cm ²
Temperature Range	-30~70°C
Rated output	1mV/V (2,000×10 ⁻⁶ strain)
Non-linearity	1% R. O.
Excitation voltage (max)	10V
Bridge resistance	350Ω
Safe overload rating	150% R. O.

Sensor

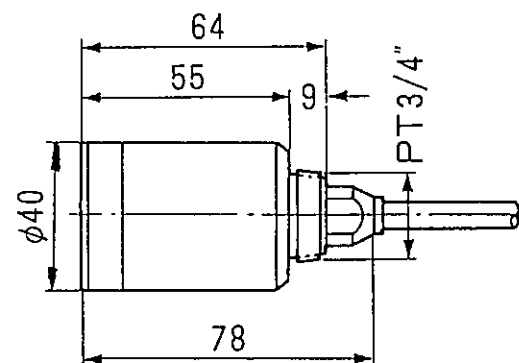
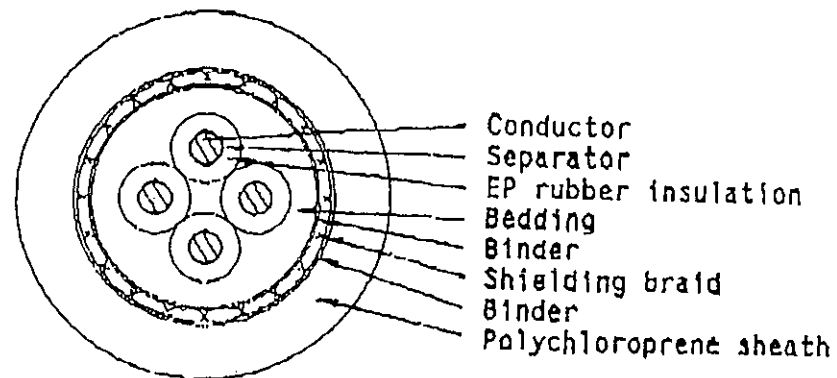


図-3.27 埋設計器の仕様 (Piezometer)

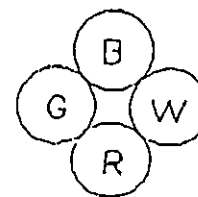
SPECIFICATION FOR CABLE

Manufacturer	KYOWA Electronic Instruments		
Number of core	4		
Conductor Nominal	cross-section area		0.5
	construction	No. /mm	20/0.18
	diameter	mm	0.9
Nominal thickness of insulation	mm		0.5
Nominal thickness of bedding	mm		0.9
Nominal thickness of shielding braid	mm		0.3
Nominal thickness of sheath	mm		1.8
Diameter of complete cable (approx.)	mm		11.5
Weight of complete cable (approx.)	kg/km		170
Conductor resistance at 20°C	Ω/km		39.8
Insulation resistance at 20°C	Mohm/km		500
Withstand voltage for 1minute	V		1000

Cable Cross Section



Core Identification



Note) B : Black
 W : White
 R : Red
 G : Green

図-3.28 埋設計器の仕様 (Cable)

表-3.4 埋設計器の数量

計器項目	メーカー	個数	計測項目				
			温度	湿度	水圧	土圧	全圧
Thermocouple Psychrometers	Wescor	170	○	○			
Total Pressure Cells	Roctest	20	○				○
Earth Pressure Cells	Roctest	32	○			○	
Total Pressure Cells	Geonor (Norway)	11	○				○
Piezometers	Roctest	10	○		○		
Hygrometers	Supplied by ANDRA	15	○	○			

表-3.5 埋設計器の仕様 (A E C L サイド)

Vibrating Wire Total Pressure Cell

Manufacturer: Roctest Canada, 665 Pine Street, St-Lambert, Quebec, Canada, phone 514-465-1113, FAX 514-465-1938

Specifications:

Vibrating Wire Total pressure cell model TPC-0/STP, with special thick plate,
All stainless steel construction
Main Plate, 6 inch (150mm) diameter, 19mm thickness
Vibrating wire pressure transducer, 35mm diameter, 127mm length
oil filled
integrated thermister
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
cable 15m of IRC-41A
accuracy +-1% (our own calibrations)

Note: There have been problems with the cable under the combined temperature and pressure conditions specified for the TSX phase 2.

Initially purchased instruments will be retrofitted to meet the environmental conditions and the outstanding order will have an upgraded wiring/slieve system.

Vibrating Wire Earth Pressure Cell

Manufacturer: Roctest Canada, 665 Pine Street, St-Lambert, Quebec, Canada, phone 514-465-1113, FAX 514-465-1938

Specifications:

Vibrating Wire Total pressure cell model TPC-0/STP
All stainless steel construction
Main Plate, 6 inch (150mm) diameter, 19mm thickness
Vibrating wire pressure transducer, 35mm diameter, 127mm length
oil filled
integrated thermister
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
cable 15m of IRC-41A
accuracy +-1% (our own calibrations)

Note 1: This is basically the same cell as the total pressure cell supplied by this manufacturer, excepting that it has not got the thick backing plate which would allow it to be mounted on a rock/concrete surface. These cells will be mounted within the body of the seal.

Note 2: There have been problems with the cable under the combined temperature and pressure conditions specified for the TSX phase 2.
Initially purchased instruments will be retrofitted to meet the environmental conditions and the outstanding order will have an upgraded wiring/slieve system.

Vibrating Wire Piezometers

Manufacturer: Rocrest Canada, 665 Pine Street, St-Lambert, Quebec, Canada, phone 514-465-1113, FAX 514-465-1938

Specifications:

Vibrating Wire Total pressure cell model PWS
Stainless steel housing
integrated thermister
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
cable 15m of IRC-41A
nominal dimensions of sensor 150mm length, 19mm diameter
accuracy +1% (our own calibrations)

Note : There have been problems with the cable under the combined temperature and pressure conditions specified for the TSX phase 2. A modified wiring sleeve has been identified which will ensure the proper operation of the instrument under the longer term (Phase 2) thermal environment.

Geonor Total Pressure Cells (new-type)

Manufacturer: Geonor (Norway),
Purchased through Canadian distributor (Hoskin Scientific, Vancouver, Canada)

Specifications:

Dual wire vibrating wire total pressure cell Model P100M
stainless steel AISI 316 construction with tube fitting connector
outside diameter 200mm, thickness 50mm
operating range to 8 MPa
temperature range to 85 °C
15m of cable
accuracy <1% of full scale (manufacturers, confirmed by our own labs)

Note : These cells are higher pressure versions of the cells used in the Buffer/Container Experiment and have been purchased specifically for the TSX.

Geonor Total Pressure Cells (old-type)

Manufacturer: Geonor (Norway),
Purchased through Canadian distributor (Hoskin Scientific, Vancouver, Canada)

Specifications:

Dual wire vibrating wire total pressure cell Model P100
stainless steel AISI 316 construction with tube fitting connector
outside diameter 230mm, thickness 50mm
operating range to 5 MPa
temperature range to 85 °C
accuracy <1% of full scale (manufacturers, confirmed by our own labs)

Note : These cells were left over or recovered from the Buffer/Container Experiment and have been included in the TSX as supplementary instruments. They will be used in the lower temperature/pressure regions of the clay seal.

Rotronic Hygrometers

Japanese Distributor for Rotronic Sensors

Meister Sentronic Co. Ltd.

1-11-1 Iwata Bldg. 102

Sengen-cho, Nishi-ku 220

Yokohama

telephone 81-45-320-2521

FAX 81-45-320-2535

Series I-400 Sensors,

Humidity range 0...100% RH

Temperature range -55 ... +125 °C (our specification is for 0-100 °C)

Output voltage for temperature and pressure

0 ... 1 (5) V (our selected output)

0 ... 10V

0 (4) ... 20 mA

Supply voltage 12 VDC +-15%

24 VDC +-15%

115VAC, 50-60Hz (our specification)

230VAC, 24VAC (other available voltages)

Cable length 20m

Flange Probe 120mm length, with slotted metal cap

15mm diameter on cable mounted probe

Filter Element Sinter steel

Accuracy at 23 °C +-1.5% (RH 10-95%)

+2.5% (RH <10% or >95%)

+ 0.3 K

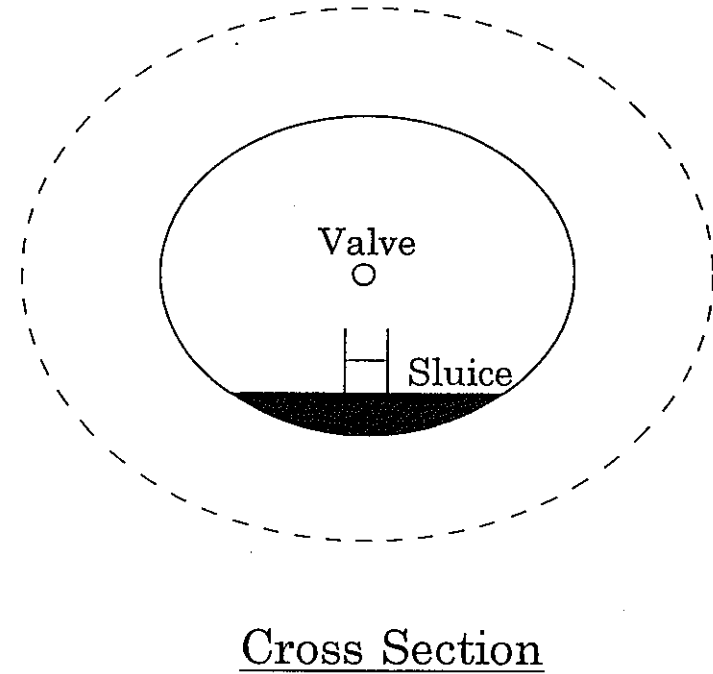
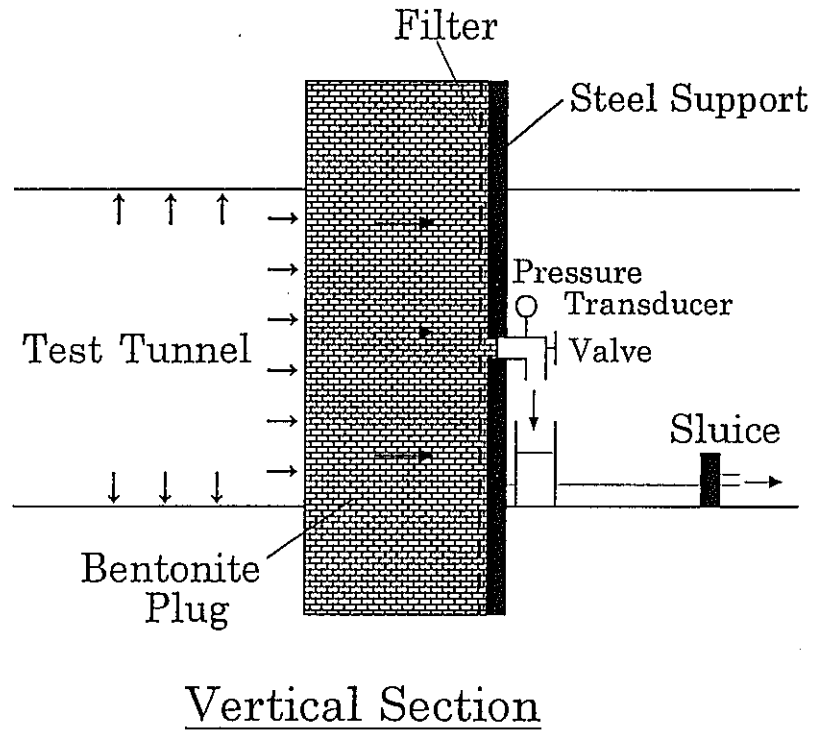


图-3.29 湧水量測定方法

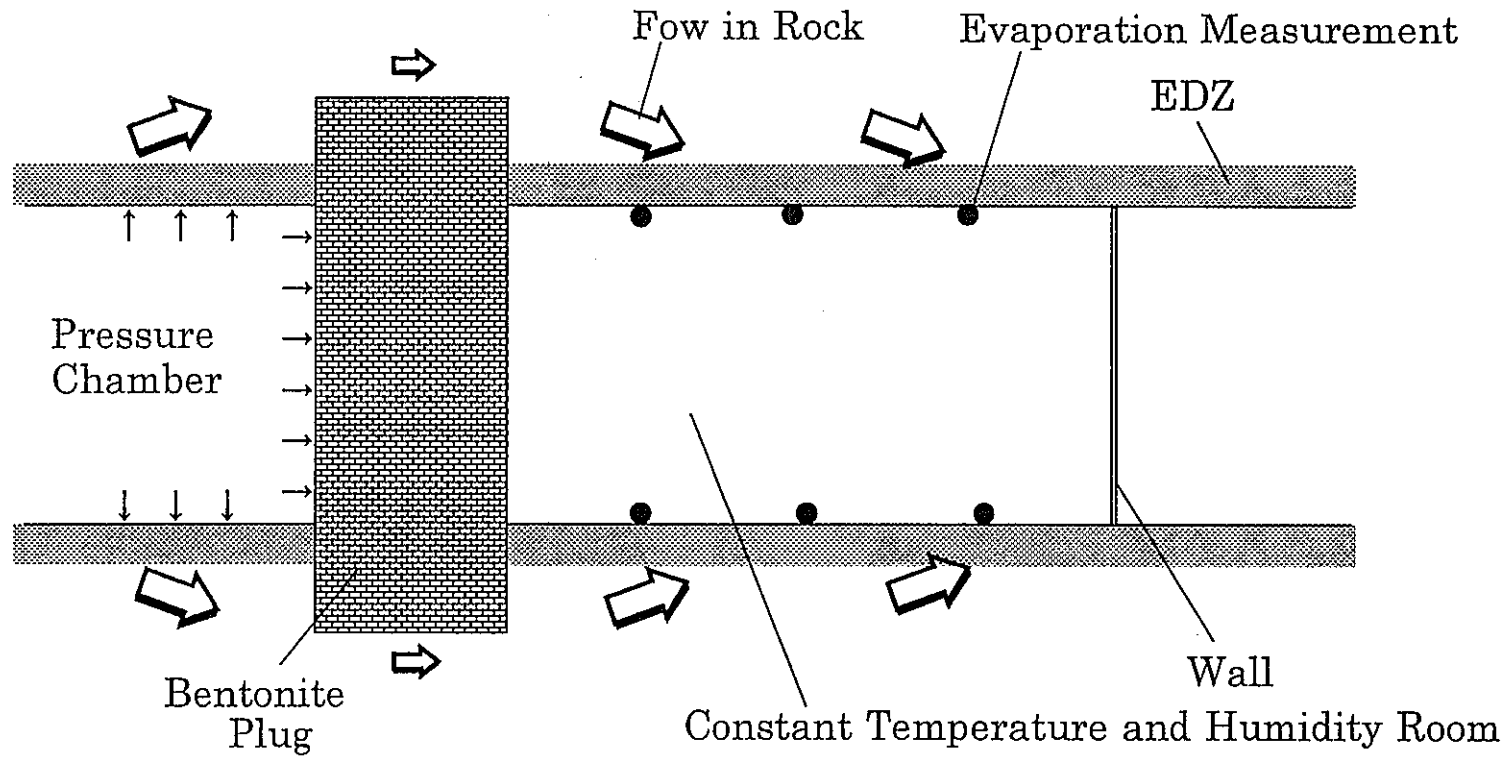


図-3.30 ベンチレーション試験方法

3.7 粘土系グラウト方法の検討

粘土系グラウトについては、当初日本側からプラグ拡幅部の外側に1 m、24本のボーリング孔を掘削しそれに対し粘土系グラウトを実施する計画を提案した(図-3.31)。しかし、今回の原位置試験サイトではこれまでの試験結果からEDZは10~20cm程度であることから、以上の方法ではEDZの水理的改良があまり期待できないため、さらに追加検討を行った。

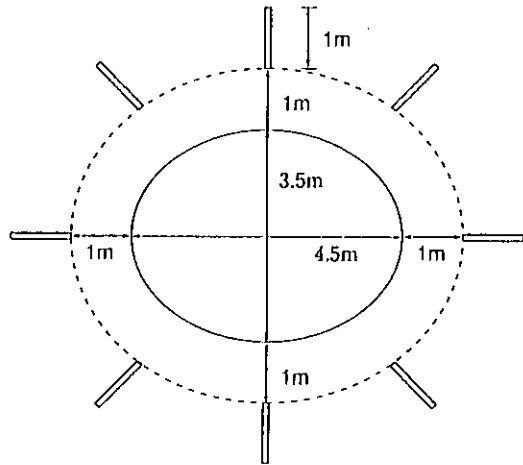
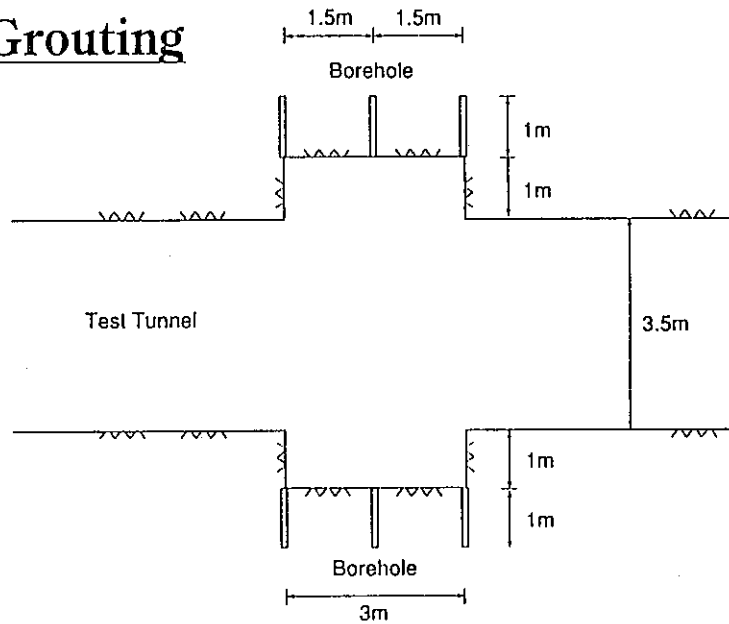
表-3.6に追加検討したグラウト方法A~C案の比較表を示す。

A案(チャンバーからの注入)の長所としては(1)高圧注入ができる、(2)リーク状況が確認でき、リーク対処が可能、(3)注入用の特別な設備が不要、(4)チャンバーからの高圧注水を中断する必要がない、が挙げられ、短所としては(1)コンクリートプラグ及びその周辺岩盤への影響が有り得る、(2)注入濃度の管理が難しい、が挙げられる。

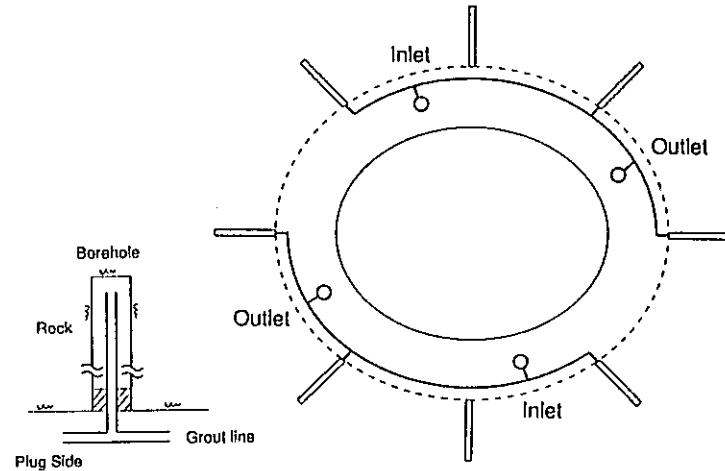
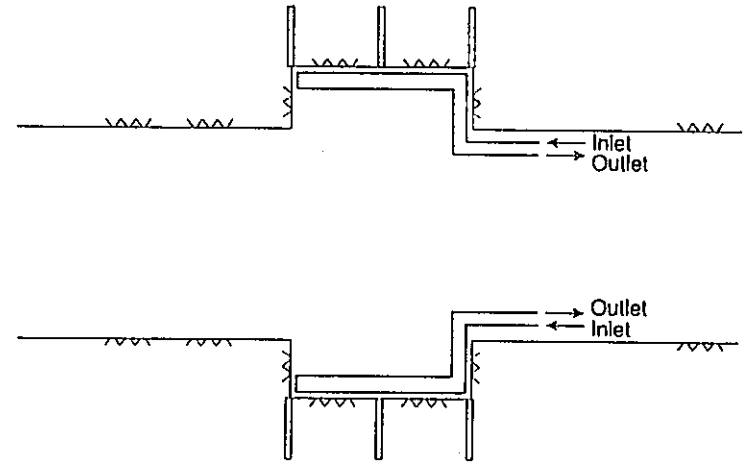
B案(岩盤中に削孔したボアホールからの注入)は当初案とほぼ同じで、長所としては(1)コンクリートプラグ等への影響がない、(2)注入濃度を自由に制御できる、短所としては(1)高圧注入が難しい(高圧下でのバッカーの耐圧)、(2)チャンバー側へのリーク状況が確認できない(リーク対処が不可能)、(3)チャンバーからの高圧注水を中断する必要がある(中断しないとグラウト注入が困難)、(4)配管の止水対策が必要、(5)削孔したボーリング孔が水みちとなる可能性がある、が挙げられる。

C案(岩盤とベントナイトブロックの間に注入)の長所としては(1)コンクリートプラグ等への影響がない、(2)削孔の手間が省ける、があり、短所としては(1)高圧注入が難しい(高圧の場合、ベントナイトブロックの破壊の可能性)、(2)チャンバー側へのリーク状況が確認できない(リーク対処が不可能)、(3)高濃度での注入しかできない(低濃度注入では新たな水みちを作る可能性)、(4)チャンバーからの高圧注水を中断する必要がある(中断しないと注入が困難)、(5)配管の止水対策が必要、が挙げられる。

Grouting



Borehole Drilling



Installation of Grout Line

図-3.31 粘土系グラウトの手順 (当初計画)

表-3.6 グラウト注入方法の比較

目的：プラグ部周辺岩盤(ゆるみ域)の透水性改良

		A案	B案	C案
概念図				
コンクリートプラグ等への影響		×	○	○
品質	透水性の改良	○	△	×
	注入管理 (リーク処理も含む)	×	△	△
	補助工法の手間 (止水対策等)	○	×	△
コスト		○	×	△
工期		○	△	○
判定		△	△	△

3.8 今後の検討課題

以上の検討結果に基づいて、今後さらに追加検討が必要と考えられる項目を1)プラグ部の施工方法、2)チャンバー部の施工方法、3)プラグサポート工法、4)計測方法、5)粘土系グラウト方法に分類して以下に整理した。

1)プラグ部の施工方法

- ・プラグ形状 プラグ幅
 チャンバー側の崩壊防止方法
 フィルターの要否
 埋め戻しの施工性確認試験部分の施工方法
- ・ベントナイトブロックの作成方法（AECLによる予備試験の実施）
- ・プラグ拡幅部の掘削方法（AECLによる予備試験の実施）

2)チャンバー部の施工方法

- ・埋め戻し材の材料の決定

3)プラグサポート工法

- ・Golderからの最終決定案の検討

4)計測方法

- ・埋設計器配置、個数の調整
- ・埋設計器の止水方法の追加検討
- ・蒸発散量測定の可能性の検討（埼玉大学渡辺先生による予備試験の実施）

5)粘土系グラウト方法

- ・粘土系グラウト実施の可否の基準の決定
- ・配管、パッカー等をプラグ内に残さずに実施する方法の検討

3.9 参考文献

- 1) The Tunnel Sealing Experiment Conceptual Design Report, N. A. Chandler, D. A. Dixon, M. N. Gray, and R. S. Read
- 2) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 1, July 26, 1995
- 3) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 2, April 9&10, 1996
- 4) Tunnel Sealing Experiment Coordination Meeting No. 3, September 12&13, 1996